

02975.000112.



PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:)	
	:	Examiner: Not Yet Assigned
KENJIRO TAKEMURA ET AL.)	
	:	Group Art Unit: Not Yet Assigned
Application No.: 10/669,429)	
	:	
Filed: September 25, 2003)	
	:	
For: CONTROL APPARATUS FOR)	
VIBRATION TYPE ACTUATOR,	:	
VIBRATION TYPE ACTUATOR)	
SYSTEM, AND METHOD FOR	:	
CONTROLLING VIBRATION TYPE)	
ACTUATOR	:	January 14, 2004

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

In support of Applicants' claim for priority under 35 U.S.C. § 119, enclosed is a certified copy of the following foreign application:

2002-293437 filed October 7, 2002.

Applicants' undersigned attorney may be reached in our New York office by telephone at (212) 218-2100. All correspondence should continue to be directed to our address given below.

Respectfully submitted,

Attorney for Applicants

Registration No.

42,476

FITZPATRICK, CELLA, HARPER & SCINTO
30 Rockefeller Plaza
New York, New York 10112-3801
Facsimile: (212) 218-2200
399980v1

CFV 00112
US
10/669,429

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2002年10月 7日

出願番号
Application Number: 特願2002-293437
[ST. 10/C]: [JP 2002-293437]

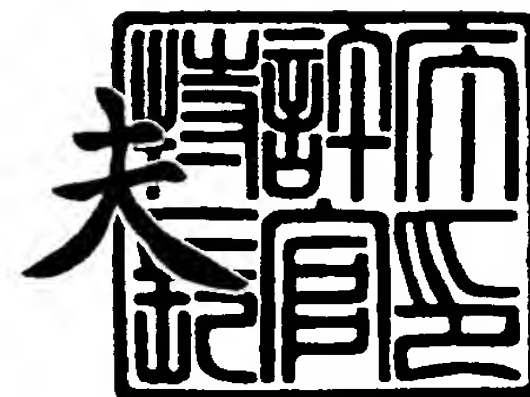
出願人
Applicant(s): キヤノン株式会社



2003年10月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3088786

【書類名】 特許願

【整理番号】 4681032

【提出日】 平成14年10月 7日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H02N 2/00

【発明の名称】 振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法

【請求項の数】 14

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学内

 【氏名】 竹村 研治郎

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学内

 【氏名】 前野 隆司

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

 【氏名】 山本 新治

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

 【氏名】 小島 信行

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100067541

【弁理士】

【氏名又は名称】 岸田正行

【選任した代理人】

【識別番号】 100104628

【弁理士】

【氏名又は名称】 水本敦也

【選任した代理人】

【識別番号】 100108361

【弁理士】

【氏名又は名称】 小花弘路

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 044716

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要



【書類名】 明細書

【発明の名称】 振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 移動体と、この移動体に接触する弾性体と、この弾性体に固着され少なくとも 3 相の周波信号の供給により前記弾性体に少なくとも 3 種類の異なる振動を励振させる電気-機械エネルギー変換素子とを備えた振動型アクチュエータに対し、前記弾性体に接触する移動体を目標位置まで回転させるための少なくとも 3 相の周波信号を供給する振動型アクチュエータの制御装置であって、前記移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定する回転軸決定手段と

、
逆モデルを用いることにより、前記決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号の位相および振幅を決定するパラメータ決定手段と、

前記決定された位相および振幅を有する各周波信号を前記電気-機械エネルギー変換素子に供給する制御手段とを有することを特徴とする振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 2】 前記回転軸決定手段は、前記移動体が目標位置まで最小の駆動量で到達するための回転軸を決定することを特徴とする請求項 1 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 3】 前記パラメータ決定手段は、前記決定された回転軸の状態毎に対応する複数の逆モデルを有し、前記決定された回転軸の状態に応じてこれら複数の逆モデルの内いずれか 1 つを選択し、この選択した逆モデルを用いることにより前記各周波信号の位相および振幅を決定することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 4】 前記複数の逆モデルのうち少なくとも 1 つは、非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルであることを特徴とする請求項 3 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 5】 前記複数の逆モデルのうち少なくとも 1 つは、線形な変換を行う線形変換器を用いた線形モデルであることを特徴とする請求項 4 に記載の振



動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 6】 前記逆モデルは非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 7】 前記非線形変換器は、ニューラルネットワークにより構築されていることを特徴とする請求項 4 又は 6 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 8】 前記少なくとも 3 種類の異なる振動は、前記弾性体および移動体の中央部近傍を通る z 軸方向の縦振動と、この z 軸方向と略直交すると共に互いに略直交する x 軸方向および y 軸方向の横振動からなり、

前記決定された回転軸のベクトルが z 軸と略一致、あるいは x y 平面内に存在する場合は、前記複数の逆モデルのうち線形モデルを選択し、他の場合には非線形モデルを選択することを特徴とする請求項 5 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 9】 前記移動体の現在位置と目標位置とに基づいて、前記振動型アクチュエータに対して供給する周波信号の振幅の振幅増幅率を決定する振幅増幅率決定手段と、

前記パラメータ決定手段により決定された振幅に前記振幅増幅率を乗じた値を前記周波信号の振幅とする振幅決定手段とを有することを特徴とする請求項 1 から 8 に記載の振動型アクチュエータの制御装置。

【請求項 10】 請求項 1 から 9 のいずれかに記載の振動型アクチュエータの制御装置と、

前記振動型アクチュエータの制御装置から供給される周波信号により駆動制御される振動型アクチュエータとを有することを特徴とする振動型アクチュエータシステム。

【請求項 11】 移動体と、この移動体に接触する弾性体と、この弾性体に固着され少なくとも 3 相の周波信号の供給により前記弾性体に少なくとも 3 種類の異なる振動を励振させる電気-機械エネルギー変換素子とを備えた振動型アクチュエータに対し、前記弾性体に接触する移動体を目標位置まで回転させるための

少なくとも 3 相の周波信号を供給する振動型アクチュエータの制御方法であって

、
前記移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定し、
逆モデルを用いることにより、前記決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号の位相および振幅を決定し、
前記決定された位相および振幅を有する各周波信号を前記電気-機械エネルギー変換素子に供給することを特徴とする振動型アクチュエータの制御方法。

【請求項 1 2】 前記回転軸の決定は、前記移動体が目標位置まで最小の駆動量で到達するための回転軸を決定することを特徴とする請求項 1 1 に記載の振動型アクチュエータの制御方法。

【請求項 1 3】 前記各周波信号の位相および振幅の決定は、前記決定された回転軸の状態に応じて、前記決定された回転軸の状態毎に対応する複数の逆モデルの内いずれか 1 つを選択し、この選択した逆モデルにより前記各周波信号の位相および振幅を決定することを特徴とする請求項 1 1 又は 1 2 に記載の振動型アクチュエータの制御方法。

【請求項 1 4】 前記複数の逆モデルのうち少なくとも 1 つにニューラルネットワークにより構築され非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルを使用することを特徴とする請求項 1 3 に記載の振動型アクチュエータの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、少なくとも 3 種類の異なる振動モードを利用して移動体を多自由度に駆動する振動型アクチュエータについての振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

これまでに超音波モータ等の振動型アクチュエータに関する提案が数多くなさ

れている。その中で 3 種類以上の振動を組み合わせ、移動体を多自由度に駆動するタイプの超音波モータに関する提案もなされている。

【 0 0 0 3 】

例えば、振動体に 1 つの縦振動と 2 つの横振動を励振させ、上記 3 つの振動のうち 2 つの振動を選択的に組み合わせることにより所定の平面内に橢円運動を形成し、振動体に接触させた移動体を多自由度に駆動させる構成としたものがある（例えば、特許文献 1 参照。）。

【 0 0 0 4 】

また、上記と同様な構造の超音波モータに印加する交流電圧の位相差を調整することによって移動体の回転軸を調整する構成としたものもある（例えば、特許文献 2 参照。）。

【 0 0 0 5 】

さらに、印加する交流電圧の位相差および振幅を調整することによって移動体の回転軸を調整する構成のものもある（例えば、特許文献 3 参照。）。

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】

特開平 1 1 - 1 6 4 5 7 6 号公報 （第 3 - 4 頁、第 1 図）

【特許文献 2】

特開平 1 1 - 2 2 0 8 9 1 号公報 （第 4 - 5 頁、第 1 図）

【特許文献 3】

特開平 1 1 - 2 2 0 8 9 2 号公報 （第 5 - 1 3 頁、第 1 図）

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の技術においては以下に示すような問題点があった。振動型アクチュエータの振動を制御するパラメータとしては、印加交流電圧の駆動周波数、電圧振幅、位相差などがあるが、3 相以上の交流電圧を印加するタイプの多自由度振動型アクチュエータでは、入力と出力の関係が冗長性・非線形性を有しており、定式化が困難であった。この結果、所望の運動を効率よく行わせるためのパラメータを決定することができないという問題があった。

【0008】

本発明はこのような問題点に鑑みなされたもので、3種類以上の振動を励振させ冗長性・非線形性を有するような場合でも、所望の運動を効率よく行わせることのできる振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法を提供することを目的とするものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本願発明に係る振動型アクチュエータの制御装置は、移動体と、この移動体に接触する弾性体と、この弾性体に固着され少なくとも3相の周波信号の供給により弾性体に少なくとも3種類の異なる振動を励振させる電気-機械エネルギー変換素子とを備えた振動型アクチュエータに対し、弾性体に接触する移動体を目標位置まで回転させるための少なくとも3相の周波信号を供給する振動型アクチュエータの制御装置であって、移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定する回転軸決定手段と、逆モデルを用いることにより、決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号の位相および振幅を決定するパラメータ決定手段と、決定された位相および振幅を有する各周波信号を電気-機械エネルギー変換素子に供給する制御手段とを有する構成としている。

【0010】

このような構成とすることにより、3種類以上の振動を励振させ冗長性・非線形性を有するような、従来は入出力の関係の定式化が困難であった振動型アクチュエータの駆動制御においても、回転軸決定手段によって決定された回転軸に関する情報（例えば、回転軸ベクトルの姿勢など）を入力とし、この回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号（交流電圧）の位相および振幅を出力とする逆モデルを使用することによって、所望の運動を効率よく行わせることができる。

【0011】

なお、回転軸決定手段は、移動体が目標位置まで最小の駆動量で到達するための回転軸を決定するようにしてもよく、これによれば、移動体が目標位置まで最

小の駆動量で（すなわち、最も効率良く）到達することのできる回転軸を中心として回転するための各周波信号（交流電圧）の位相および振幅をパラメータ決定手段により求めることができる。さらに、位置決め制御を行う場合においても、短時間で高精度な位置決めが可能となる。

【0012】

また、パラメータ決定手段は、決定された回転軸の状態毎に対応する複数の逆モデルを有し、決定された回転軸の状態に応じてこれら複数の逆モデルの内いずれか1つを選択し、この選択した逆モデルを用いることにより各周波信号の位相および振幅を決定することが望ましい。

【0013】

このように、複数通りに場合分けされた回転軸の状態（例えば、回転軸ベクトルの方向等）毎に対応する複数の逆モデルを有し、駆動時にはその回転軸ベクトルの方向に応じて使用する逆モデルを使い分けることにより、回転軸ベクトルの方向の違いによって移動体の駆動特性が変化する振動型アクチュエータであっても的確な駆動制御を行うことができる。

【0014】

なお、この回転軸の状態の複数通りの場合分けは、回転軸ベクトルの方向を直交座標系における8つの象限により場合分けするものであってもよいし、制御対象である移動体の駆動特性が変化する得るいかなる場合分けでもよい。

【0015】

複数の逆モデルのうち少なくとも1つは、非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルであることが望ましいが、これに加えて複数の逆モデルのうち少なくとも1つは、線形な変換を行う線形変換器を用いた線形モデルであるようにしてもよい。

【0016】

このような構成とすることで、入出力の関係に冗長性および非線形性があるが回転軸ベクトルの方向によっては冗長性がなく線形な駆動制御が可能な振動型アクチュエータを駆動制御する場合に、回転軸ベクトルの方向に基づいて駆動時の位相および振幅を、線形な変換を行う逆モデルにより求める状態と、非線形な変

換を行う逆モデルにより求める状態とに分類することができ、駆動制御を行う上での処理負担を軽減することができるとともに、高精度な駆動制御を行うことができる。また、変化するパラメータを少なくすることができ、ニューラルネットワークの構造を簡単にすることができるとともに、学習による最適化が容易に行えるようになる。

【 0 0 1 7 】

さらに、具体的には、少なくとも 3 種類の異なる振動は、弾性体および移動体の中央部近傍を通る z 軸方向の縦振動と、この z 軸方向と略直交すると共に互いに略直交する x 軸方向および y 軸方向の横振動からなり、決定された回転軸のベクトルが z 軸と略一致、あるいは x y 平面内に存在する場合には複数の逆モデルのうち線形モデルを選択し、他の場合（すなわち、決定された回転軸のベクトルが z 軸と略一致せず、かつ x y 平面内にも存在しない場合）には非線形モデルを選択する構成とすることもでき、上述の構成と同様に駆動制御を行う上での処理負担を軽減することができるとともに、高精度な駆動制御を行うことができる。また、変化するパラメータを少なくすることができ、ニューラルネットワークの構造を簡単にすることができるとともに、学習による最適化が容易に行えるようになる。

【 0 0 1 8 】

また、逆モデルは非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルであることが好ましい。これによれば、3 種類以上の振動を励振させ冗長性・非線形性を有するような、従来は入出力の関係の定式化が困難であった振動型アクチュエータの駆動制御においても、効率的且つ高精度な駆動制御を行うことが可能となる。

【 0 0 1 9 】

ここで、上述の非線形変換器は、ニューラルネットワークにより構築されている構成とすることが望ましい。すなわち、冗長性および非線形性を有する振動型アクチュエータにおいても、ニューラルネットワークにより構築された逆モデルを用いることにより、所望の運動を効率よく行うための最適なパラメータを決定することができ、ひいては高精度な駆動制御を実現することができる。

【 0 0 2 0 】

なお、上述のニューラルネットワークは入力層、中間層、および出力層を有する 3 層構造であり、このニューラルネットワークは誤差逆伝播法（バックプロパゲーション法）により入力層と中間層の間、および中間層と出力層の間の結合係数の最適化（学習）を事前に行っているものであることが好ましい。

【 0 0 2 1 】

ここで、移動体上の所定の点の現在位置を検出する位置検出手段を備え、この位置検出手段によって検出された現在位置情報と目標位置情報とに基づいて移動体の回転軸を決定する回転軸決定手段を有し、移動体をこの決定された回転軸を中心として回転させるための各周波信号の位相および振幅をパラメータ決定手段によって決定する構成としてもよい。

【 0 0 2 2 】

なお、移動体の現在位置と目標位置とに基づいて、振動型アクチュエータに対して供給する周波信号の振幅の振幅増幅率を決定する振幅増幅率決定手段と、パラメータ決定手段により決定された振幅に振幅増幅率を乗じた値を周波信号の振幅とする振幅決定手段とを有する構成とすることが望ましく、これによれば、通常の位置決め制御で行なわれているような、目標位置と検出位置（現在位置）の距離に応じて速度を調整して駆動するといったことも可能となる。

【 0 0 2 3 】

また振幅増幅率は、現在位置から目標位置までの距離に基づいて比例制御則での演算、積分制御則での演算、および微分制御則での演算により得られる値の内いずれか 1 つの値、またはこれら複数の制御則での演算により得られる複数の値を加算して得られる値であるようにしてもよい。

【 0 0 2 4 】

なお、電気－機械エネルギー変換素子に供給する周波信号の周波数が、弾性体の共振周波数近傍（例えば、共振周波数よりも少し高い周波数）となるように周波数を調整する周波数調整手段を有することが望ましい。具体的には、少なくとも 3 相の周波信号の周波数を弾性体の共振周波数近傍の周波数で、かつ各相の周波信号の位相を異ならせて供給することにより、弾性体に楕円運動を発生させるこ

とができる。

【 0 0 2 5 】

この周波数調整手段は、弾性体に設けられた振動状態検出手段からの信号と電気－機械エネルギー変換素子へ供給する周波信号の位相差を比較し、位相差が所定の範囲内になるように周波数を調整する手段であることが好ましい。

【 0 0 2 6 】

なお、弾性体と電気－機械エネルギー変換素子からなる振動体は、略円形の断面形状を有する（すなわち、略丸棒状の）振動体であることが望ましいが、これに限られるものではなく、平板状の振動体であってもよい。

【 0 0 2 7 】

ここで、上述の縦振動は 1 次モードであり、2 つの横振動は 2 次モードであって、3 つの振動の固有振動数は略一致させてあることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

また、上記の目的を達成するために、本願発明に係る振動型アクチュエータシステムは、上述のような振動型アクチュエータの制御装置と、振動型アクチュエータの制御装置から供給される周波信号により駆動制御される振動型アクチュエータとを有する構成としている。

【 0 0 2 9 】

この他、上記の目的を達成するために、本願発明に係る振動型アクチュエータの制御方法は、移動体と、この移動体に接触する弾性体と、この弾性体に固着され少なくとも 3 相の周波信号の供給により弾性体に少なくとも 3 種類の異なる振動を励振させる電気－機械エネルギー変換素子とを備えた振動型アクチュエータに対し、弾性体に接触する移動体を目標位置まで回転させるための少なくとも 3 相の周波信号を供給する振動型アクチュエータの制御方法であって、移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定し、逆モデルを用いることにより、決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号の位相および振幅を決定し、決定された位相および振幅を有する各周波信号を電気－機械エネルギー変換素子に供給する構成とすることが望ましい。

【 0 0 3 0 】

なお、上述の回転軸の決定は、移動体が目標位置まで最小の駆動量で到達するための回転軸を決定することが好ましい。

【0 0 3 1】

また、上述の各周波信号の位相および振幅の決定は、決定された回転軸の状態に応じて、決定された回転軸の状態毎に対応する複数の逆モデルの内いずれか 1 つを選択し、この選択した逆モデルにより各周波信号の位相および振幅を決定する構成とすることができる。

【0 0 3 2】

この他、上述の複数の逆モデルのうち少なくとも 1 つにニューラルネットワークにより構築され非線形な変換を行う非線形変換器を用いた非線形モデルを使用することもできる。

【0 0 3 3】

【発明の実施の形態】

（第 1 実施形態）

以下、本発明の第 1 実施形態である振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法について詳細に説明する。

【0 0 3 4】

図 2 は、本実施形態による振動型アクチュエータとしての多自由度超音波アクチュエータの斜視図である。この振動型アクチュエータは、弾性体 3 に接触する移動体 4 上の出力軸 6 の先端部分を任意の方向に移動可能なように（すなわち、移動体 4 を任意の回転方向に回転運動させることが可能なように）構成されたアクチュエータである。

【0 0 3 5】

このような振動型アクチュエータは、例えば移動体 4 上の出力軸 6 にカメラを取り付けることにより多自由度に駆動される監視カメラを実現したり、ロボットの関節として使用する等の用途がある。

【0 0 3 6】

以下、このような振動型アクチュエータの動作原理について説明する。

【0037】

図2において、1は縦振動用の圧電素子であり、不図示の駆動回路から交流電圧（周波信号）を印加（供給）することにより、弾性体3に図中z軸方向の縦振動を発生させる。2も圧電素子であるが、この圧電素子2は2群の圧電素子に分かれており、この2つの群のうちの1群は弾性体3に図中x軸方向の横振動を発生させるために使用され、残りの1群は図中y軸方向の横振動を発生させるために使用されている。すなわち、このような圧電素子（電気―機械エネルギー変換素子）が弾性体3に固着されている構成により弾性体3にはz軸方向の縦振動と、x軸方向およびy軸方向の横振動を発生させることが可能となる。

【0038】

圧電素子1および2と弾性体3で構成される振動体Sの縦方向の1次の共振周波数と、横方向の2次の共振周波数は概略一致するように構成されている。駆動時には圧電素子1と2群からなる圧電素子2にそれぞれ同一の共振周波数付近の周波数で、かつ位相の異なる3相の交流電圧を印加することにより、弾性体3に楕円運動を発生させることができる。この楕円運動の方向は交流電圧の位相差および振幅を調整することにより変化させることができる。この結果、移動体4を任意の回転軸を中心として回転運動させることができる。

【0039】

7および8はポテンシオメータであり、振動型アクチュエータを制御する際に移動体の位置を検出するために使用されている。ポテンシオメータ7は図中x軸まわりの回転量を、ポテンシオメータ8は図中y軸まわりの回転量を検出するために使用される。5は、移動体4の回転量をポテンシオメータ7および8に伝達するためのアーチ状ガイドである。

【0040】

図1は本実施形態で使用される制御装置の構成を示した機能ブロック図である。本実施形態では図2で示した振動型アクチュエータの出力軸6の先端の点の位置を目標の位置に移動させることを目的としている。

【0041】

全体の概略的な構成としては、制御対象9である振動型アクチュエータに接続

された検出回路 10 からの情報を変換した検出位置（現在位置）情報 P （ベクトル量）と目標位置を表す目標位置情報 P_d （ベクトル量）とに基づいて、移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定する回転軸決定器（回転軸決定手段）12 で移動体の回転軸 A_{xis_d} （ベクトル量）が決定される。決定された回転軸情報 A_{xis_d} は制御対象の逆モデル（パラメータ決定手段）13 に入力され、決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための 3 相の交流電圧の位相差 ϕ （ベクトル量）と振幅比 r_{amp} （ベクトル量）が決定される。

【0042】

他方で検出位置情報 P と目標位置情報 P_d をもとに振幅係数決定器（振幅増幅率決定手段）14 では 3 相の交流電圧の振幅係数（振幅の増幅率） A （スカラー量）が決定される。逆モデル 13 から得られる振幅比 r_{amp} と振幅係数 A を積算することにより制御対象に印加する 3 相の交流電圧の各振幅が決定される。

【0043】

周波数調整器 17 では制御対象の振動状態 V_s を検知することにより、駆動周波数 f （スカラー量）が上述した振動体 S の共振周波数近傍になるように調整が行なわれている。駆動回路（制御手段）16 では入力される周波数情報 f 、位相差 ϕ 、振幅 A_{amp} をもとに 3 相の交流電圧を生成し、制御対象（具体的には、電気-機械エネルギー変換素子）9 に供給している。

【0044】

以上が全体の概略の構成である。以下、各ブロックの詳細を説明する。

【0045】

図 1 の制御対象 9 である振動型アクチュエータには、移動体の位置を検出するための検出回路 10 が取り付けられている。検出回路 10 は図 2 で説明したポテンシオメータ 7 および 8 を含むものであり、移動体の x 軸回りの回転量と y 軸回りの回転量の 2 つの値を出力する。

【0046】

本実施形態における振動型アクチュエータの制御では、空間座標を直交座標系で取り扱っている。よって、座標変換器 11 では、検出回路 10 から出力される x 軸回りの回転量と y 軸回りの回転量をもとに、移動体の出力軸 6 の先端の点の

空間座標を直交座標系に変換し、x成分、y成分、z成分で表されるベクトル量である検出位置情報Pを出力する。出力軸6の先端の点の回転半径は変化しないので、この変換では半径が一定の場合の極座標系を直交座標系に変換する手法を用いることができる。

【0047】

回転軸決定器12では、出力軸6の先端の検出位置情報Pと目標位置情報P_dにもとづいて、出力軸6の先端が検出位置(P)から目標位置(P_d)に向かう最短軌道を実現するための回転軸ベクトルAxis_dを求めている。回転軸ベクトルAxis_dは下記の数1によって求められる。

【0048】

【数1】

【数1】

$$Axis_d = \frac{P \times P_d}{|P \times P_d|}$$

【0049】

上記計算式の分子は2つのベクトルPおよびP_dの外積である。よって、外積した結果得られるベクトルは2つのベクトルPおよびP_dに対して直交するベクトルとなる。また、外積の向きはPを角度の小さい方向に回転してP_dに重ねるときに右ねじの進む方向となる。また、ベクトルの大きさを1にするために、外積の大きさを分母としている。

【0050】

このようにして決定された回転軸ベクトルAxis_dは逆モデル13に入力される。本実施形態における振動型アクチュエータの印加電圧条件と回転軸の関係は冗長性および非線形性を有している。よって、この印加電圧条件と回転軸の関係の定式化が困難である上に、駆動の際の回転軸が決定されたとしてもそれを実現するための位相差や振幅の条件は複数存在することになる。また、複数得られる条件が同じ回転軸を実現する位相差や振幅であっても、その条件毎に効率が異

になってしまう。

【0051】

よって、所望の回転軸で駆動させるための最適な交流電圧の位相差と振幅を決定することが望まれる。本実施形態ではこれを実現するために、振動型アクチュエータの逆モデル 13 を使用して、最適な交流電圧の位相差と振幅を決定する構成としている。以下、この逆モデルについて詳細に説明する。

【0052】

本実施形態では、上述のような機能を有する逆モデルを構築するために公知のニューラルネットワークを使用している。本実施形態で使用するニューラルネットワークは図 3 に示すような入力層、中間層、出力層を有する 3 層構造となっている。ニューラルネットワークの入力層には、回転軸決定器 12 によって求められた回転軸ベクトル $A_{x i s_d}$ の x 軸方向成分 $A_{x i s_d_x}$ 、y 軸方向成分 $A_{x i s_d_y}$ 、z 軸方向成分 $A_{x i s_d_z}$ が入力される。

【0053】

この入力層からの信号は中間層を介して出力層に接続されており、出力層からは 2 つの位相差情報と 3 つの振幅情報が出力される。位相差 $\phi_x y$ は x 軸方向の振動を発生させる圧電素子と y 軸方向の振動を発生させる圧電素子に印加する交流電圧の位相差である。また位相差 $\phi_x z$ は x 軸方向の振動を発生させる圧電素子と z 軸方向の振動を発生させる圧電素子に印加する交流電圧の位相差である。また、振幅比 r_{Amp_x} 、 r_{Amp_y} 、 r_{Amp_z} はそれぞれ x 軸方向、y 軸方向、z 軸方向の振動を発生させる圧電素子に印加する交流電圧の振幅比である。

【0054】

上述したニューラルネットワークは公知の誤差逆伝播法（バックプロパゲーション法）により入力層と中間層の間、および中間層と出力層の間の結合係数の最適化（学習）を事前に行っている。図 4 はこの学習の流れを示した模式図である。

【0055】

本実施形態ではニューラルネットワークの学習のために、振動型アクチュエー

タの順モデルである駆動推定シミュレータ 18 を構築した。これは、振動型アクチュエータに利用する 3 つの直交モードを任意の振幅および位相で組み合わせたときの移動体の回転軸、回転数およびトルクを算出するモデルである。モデル構築には、まず振動体の移動体との接触部を有限個の節点とそれにつながった離散線形ばねでモデル化する。

【0056】

次に、有限要素法によって算出したモード形状に基づいて各モードによる各節点の変位を 1 周期に渡り計算する。このとき、回転子の位置は固定し、各節点は線形ばねによって沈み込むこととすると、その沈み込み量から決まる摩擦力が計算される。各節点の 1 周期に渡る摩擦力を算出し、それによって生じるトルクの平均から回転子の回転軸を推定することができる。また、決定された回転軸回りの回転数とトルクの関係も、摩擦力と、振動体と回転体との間での相対速度とから算出できる。これにより回転数と摺動効率の関係も算出可能である。

【0057】

学習の際は駆動推定シミュレータ 18 に対して印加交流電圧の周波数、振幅、位相差を入力する。その結果、駆動推定シミュレータ 18 からは回転軸と効率が出力される。回転軸はニューラルネットワーク 19 に入力され、ニューラルネットワーク 19 からは振幅比および位相差が出力される。駆動推定シミュレータ 18 に入力した振幅から求められる振幅比と位相差が、ニューラルネットワーク 19 から出力される振幅比と位相差になるべく一致するようにニューラルネットワーク 19 の学習が行なわれる。

【0058】

前述したように、本実施形態で使用される振動型アクチュエータの入力と出力の関係には冗長性があるので、学習の際には駆動推定シミュレータから出力される効率も学習の際の材料としている。これにより、振動型アクチュエータ駆動時の効率も加味した（すなわち、移動体が目標位置までできるだけ少ない駆動量で到達するための回転軸を決定するような）ニューラルネットワークが構築されることになる。

【0059】

これまで説明した処理により、振動型アクチュエータに印加する位相差および振幅比が決定されるが、出力軸 6 を目標位置に短時間で正確に位置決めするためには、通常の位置決め制御で行なわれているような、目標位置と検出位置の距離に応じて速度を調整して駆動することも必要となる。以下にその方法について述べる。

【 0 0 6 0 】

図 1 の 1 4 は振幅係数決定器である。この振幅係数決定器 1 4 では、振動型アクチュエータへの印加交流電圧の振幅係数 A を決定している。この振幅係数 A は、上述したように制御位置 P と目標位置情報 P_d の偏差に応じた係数である。これは、例えば比例制御則にもとづいて下記の数 2 のように決定する。

【 0 0 6 1 】

【数 2】

【数 2】

$$A = K_p \cdot \frac{\cos^{-1}(P \cdot P_d)}{|P||P_d|}$$

【 0 0 6 2 】

ただし、 K_p は比例ゲインである。

【 0 0 6 3 】

振幅決定器（振幅決定手段） 1 5 では振幅係数（振幅の増幅率） A と逆モデル 1 3 から得られる振幅比 r_{Amp} の乗算が下記の数 3 の演算により行なわれる。

【 0 0 6 4 】

【数 3】

【数 3】

$$Amp = A \cdot rAmp$$

【0065】

これにより、振動型アクチュエータに印加する交流電圧の最終的な振幅 A_{mp} が決定される。

【0066】

駆動回路 16 では入力される位相差 ϕ 、振幅 A_{mp} 、周波数 f によって、振動型アクチュエータ（すなわち、超音波モータ）を駆動するための交流電圧が生成される。図示しないが、駆動回路 16 には発振回路、位相シフト回路、昇圧回路などが含まれている。

【0067】

本実施形態では、制御対象 9 に相当する振動型アクチュエータの駆動周波数は、常に振動体 S の共振周波数近傍（共振周波数より少し高い周波数）になるように制御されている。これを実現するために、制御対象 9 には振動を検出するための圧電素子を用いたセンサが取り付けられている。前記振動検出用センサの出力と、制御対象 9 に印加する 3 相の交流電圧のうちの 1 相の位相差を所定の値に保つように駆動周波数 f を調整することにより、制御対象 9 である振動型アクチュエータの駆動周波数を振動体 S の共振周波数近傍に保つことが可能となる。

【0068】

以上説明したように、本実施形態では冗長性および非線形性を有する振動型アクチュエータにおいて、ニューラルネットワークを利用した逆モデルを使用することにより、振動型アクチュエータへの印加電圧条件を最適に決定することができる。また、振動型アクチュエータの出力軸 6 を目標位置に正確に短時間で（すなわち効率よく）位置決めすることが可能となる。

【0069】

本実施形態において図 1 に示したような制御回路を実際に構成する場合、座標変換器 11、回転軸決定器 12、逆モデル 13、振幅係数決定器 14、振幅決定器 15 および周波数調整器 17 は、CPU や DSP 等のプログラムとして記述したソフトウェアによって実現しても良いし、ゲートアレイ等のデジタル回路、あるいはアナログ回路によって実現しても良い。また、これらの組み合わせによって実現することもできる。

【0070】

なお、本実施形態では振幅係数を決定する際に、検出位置と目標位置との偏差に応じて比例制御則を用いて振幅係数を決定しているが、これに限られるものではなく、積分制御則や微分制御則を用いて制御を行うこともできる。

【0071】

さらに、本発明では検出位置のフィードバック制御を行っていたが、本発明はこれに限られるものではなく、フィードフォワード制御による駆動を行っても良い。すなわち、図5に示すような制御ブロックにおいて、ジョイスティック等の入力装置により逆モデル13に所望の回転軸情報を入力し、逆モデルによって決定された位相差と振幅により駆動を行うこともできる。

【0072】

図6は、初期位置 P_{ini} から目標位置 P_{goal} までの出力軸6先端の移動軌跡を3次元的に表した図である。また、図7において、(a)は図6に表した移動軌跡の $x-y$ 平面への投影図、(b)は図6に表した移動軌跡の $y-z$ 平面への投影図、(c)は図6に表した移動軌跡の $z-x$ 平面への投影図である。これらの図において、丸印は本実施形態において示したような逆モデルを用いた制御法による出力軸6先端の移動軌跡を、四角印は従来の制御法による出力軸6先端の移動軌跡を、曲線は初期位置 P_{ini} から目標位置 P_{goal} までの最短軌道を示している。

【0073】

これらの図からも分かるように、本実施形態において説明したような逆モデルを用いて駆動制御を行う振動型アクチュエータによれば、従来の制御法による駆動制御を行った場合の駆動軌跡に比べ、初期位置 P_{ini} から目標位置 P_{goal} までの最短軌道に忠実な駆動軌跡での（すなわち、高精度かつ効率のよい）駆動制御が実現できている。

【0074】

(第2実施形態)

上述した第1実施形態では、1つのニューラルネットワークを使用した逆モデルにより、振動型アクチュエータの回転軸から駆動周波数の位相差および振幅を求めた。第1実施形態で用いたような縦振動と横振動といった種類の異なる振動

モードを組み合わせ駆動するアクチュエータの場合、回転軸のベクトルの方向によってアクチュエータとしての特性が変化する。本実施形態はこのことに応じた上述の第1実施形態の応用例である。図8に本実施形態における制御回路の機能ブロック図を示す。

【0075】

図8において、逆モデル群20および選択器21以外は、上述した第1実施形態における構成と同様であるので、これらの同様な部分についての説明は省略する。また、制御対象9に相当する振動型アクチュエータも上述の第1実施形態において図2で示した振動型アクチュエータと同様のものである。

【0076】

逆モデル群20には、振動型アクチュエータの回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ の方向（回転軸の状態）に応じた8つの逆モデル（複数の逆モデル）が存在している。ここでは、これら8つの逆モデルを回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ が直交座標系のどの象限に存在するかによって使い分けている。すなわち、回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ の各方向成分の符号（回転軸の状態）によっていずれか1つの逆モデルを選択し、使い分けている。この8つの逆モデルは第1実施形態と同様にニューラルネットワークによって構成されている。

【0077】

この逆モデル群20内の各ニューラルネットワークの学習は、上述の第1実施形態において図4で示したのと同様な流れで行なわれる。その際、回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ が存在する象限ごとに学習するニューラルネットワークを切り替えている。この結果、回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ の存在する象限に対し、最適なニューラルネットワークを構築することができる。

【0078】

次に、振動型アクチュエータの駆動時の動作について説明する。回転軸決定器12で決定された回転軸ベクトル $A_{xi} s_d$ は逆モデル群20の内部の全てのニューラルネットワークに入力される。逆モデル群20からはそれぞれのニューラルネットワークによって決定された位相差 $\phi_1 \sim \phi_8$ 、および振幅比 $r_{Amp1} \sim r_{Amp8}$ が選択器21に出力される。

【0079】

選択器 21 では、入力される回転軸ベクトル $Ax_i s_d$ が直交座標系におけるどの象限に存在するかを判断し、入力された位相差 $\phi_1 \sim \phi_8$ のうち適切なものを ϕ として出力する。すなわち、上述のようにして選択した逆モデルを用いることによって、制御対象 9 に供給する各交流電圧の位相および振幅比を決定する。振幅比も同様の処理を経て、 $rAmp_1 \sim rAmp_8$ のうち適切なものが $rAmp$ として出力される。駆動回路 16 では第 1 実施形態と同様に駆動交流電圧が生成され、制御対象 9 である振動型アクチュエータが駆動される。なお、選択器 21 によって駆動状態を分類した後に、逆モデル群から適当な逆モデルを選択し、上記選択された逆モデルのみに回転軸ベクトル $Ax_i s_d$ を入力し、駆動状態に応じた位相 ϕ および振幅比 $rAmp$ を出力するようにすることもできる。

【0080】

以上説明したように、回転軸ベクトルの方向に応じたニューラルネットワークを構築し、駆動時にはその回転軸ベクトルの方向に応じて使用するニューラルネットワークを使い分けることにより、回転軸ベクトルの方向の違いによって特性の変化する制御対象であっても的確な駆動制御を行うことができる。

【0081】

なお、本実施形態では回転軸ベクトルの方向を直交座標系における 8 つの象限により場合わけを行ったが、これに限られるものではなく、制御対象の特性が変化し得るいかなる場合分けによっても制御を行うことが可能であることは言うまでもない。

【0082】

(第 3 実施形態)

上述した第 2 実施形態では、使用する逆モデルを回転軸ベクトルの方向に応じて複数用意し、これらのうちいずれかを選択して使用することを行った。本実施形態においても上述の各実施形態における振動型アクチュエータと同様な構成のもの、すなわち入出力の関係に冗長性および非線形性のあるものを使用しているが、このような振動型アクチュエータでは回転軸ベクトルの方向によっては冗長性がなく線形な駆動制御が可能な場合もある。

【0083】

また、回転軸の存在する象限に応じた変化だけでなく、同じ象限内においても、回転軸のベクトル成分のうちどの成分が最も大きいかによる特性の変化もあることが分かっている。そこで、本実施形態においては以下のような構成をとっている。

【0084】

図9は、本発明の第3実施形態における制御回路の機能ブロック図である。ここに示す機能ブロック図の逆モデル群22と選択器23の内部構造以外は、上述の第2実施形態において図8で説明した機能ブロック図と同様な構成をとっている。本実施形態では上述の第2実施形態と異なる点に関してのみ説明する。

【0085】

上述のように、本実施形態で使用する振動型アクチュエータは上述の各実施形態と同様な図2に示す構成の振動型アクチュエータである。

【0086】

上述したように、z軸方向の縦振動と、x軸方向およびy軸方向の横振動を組み合わせるタイプの振動型アクチュエータでは、回転軸ベクトルの方向によっては3つの振動モードのうち2つの振動モードのみを使用することにより駆動制御が可能な場合がある。なお図2から分かるように、ここでのz軸は弾性体および移動体の中央部近傍を通過しており、x軸およびy軸は互いに略直交するとともに、このz軸とも略直交している。いわゆる直交座標系である。

【0087】

例えば、回転軸ベクトルをx軸と一致させて駆動させる場合には、y軸方向の横振動とz軸方向の縦振動を $\pi/2$ の位相差で駆動すればよい。また、回転軸ベクトルをy軸と一致させて駆動させる場合は、x軸方向の横振動とz軸方向の縦振動を $\pi/2$ の位相差で駆動すればよい。さらに、回転軸ベクトルをz軸と一致させて駆動させる場合は、x軸方向およびy軸方向の2つの横振動を $\pi/2$ の位相差で駆動すればよい。なお、この位相差については、回転軸の方向が軸のプラス方向およびマイナス方向のいずれの方向を向いているかによって正負の選択が行われることになる。

【0 0 8 8】

上述のような3つの状態すなわち、回転軸ベクトルがx軸方向と一致しているとき、y軸方向と一致しているとき、およびz軸方向と一致しているときは位相差も上述したように決定され、振幅も同じ振幅とすることにより駆動が可能であるので、ニューラルネットワークのような非線形の逆モデル（非線形モデル、すなわち、非線形変換器に相当する。）を用いることなく、駆動条件を決定することができる。

【0 0 8 9】

また、回転軸がx y平面上にある状態、すなわち回転軸ベクトルのz軸方向における成分がゼロの状態では、回転軸がx y平面上におけるどの象限に含まれるかによって位相差を決定することができる。図10に回転軸の象限と位相差の関係を示す。そのときの各振動モードの振動振幅は、下記の数4によって求められる。

【0 0 9 0】

【数4】

【数4】

$$\begin{cases} Amp_x = \frac{Axis_d - y}{|Axis_d|} \\ Amp_y = \frac{Axis_d - x}{|Axis_d|} \\ Amp_z = 1 \end{cases}$$

【0 0 9 1】

このように、回転軸がx y平面上に存在する場合もこれまでに使用したニューラルネットワークのような非線形の逆モデルを用いることなく駆動条件を決定することができる。

【0 0 9 2】

なお、回転軸が上記以外の状態にある場合は非線形な系に対応した逆モデルを用いる必要があるが、この際には図11に示すようなテーブルを用いて場合分け

を行う。以下、図 11 において、上述の第 2 実施形態と同様な方法によって回転軸ベクトル A_{xis_d} の存在する象限にもとづいて分けられる 8 つの状態をクラス、回転軸ベクトル A_{xis_d} の各成分の大きさの絶対値を比較し最大のものが x 軸成分なのか y 軸成分なのか z 軸成分なのかにより分けられる 3 つの状態をサブクラスというものとする。

【0093】

このようにして計 24 種類の状態に分けることにより、位相差および振幅比の設定は図 11 の ϕ および r_{Amp} に示す範囲で決定すればよいことになる。言い換えれば、上述の第 1 および第 2 の実施形態では、3 相の交流電圧の全てのパラメータが変化するものとして取り扱っていたが、本実施形態のような手法で分類を行うことにより、変化するパラメータを少なくすることができ、ニューラルネットワークの構造を簡単にすることができるとともに、学習による最適化が容易に行えるようになる。

【0094】

なおこれまでの位相に関する表現は、2 相の交流電圧間の位相差によって表したが、本実施形態の図 11 では位相として表現してある。位相差として表現する場合は、各相の位相の差を演算することによって求められるので、実質的には同じものを表現していることになる。

【0095】

以上のように、本実施形態では振動型アクチュエータの回転軸ベクトルの方向にもとづき、駆動時の位相および振幅を、線形な変換による逆モデル（すなわち、線形変換器に相当する。）により求める状態と、非線形な変換による逆モデル（線形モデル）により求める状態に分類した。さらに、非線形な変換による逆モデルを使用する際は、回転軸ベクトルの方向と大きさによって 24 通りの状態に分類した。よって、結果的には図 12 に示すように計 28 通りの状態に分類されることになる。

【0096】

図 9 に示す逆モデル群 22 には、上述の 28 通りの状態に対応した 28 通りの逆モデル群が含まれている。それぞれの逆モデルからの出力である振幅比 r_{Am}



$p_1 \sim r_{\text{Amp } 28}$ および位相 $\phi_1 \sim \phi_{28}$ が選択器 23 に入力される。この選択器 23 では、上述したような分類により駆動制御に使用する振幅比 r_{Amp} および位相 ϕ を決定している。図 13 に選択器 23 における振幅比 r_{Amp} および位相 ϕ の決定方法のフローチャートを示す。

【0097】

図 13 において、回転軸ベクトルが決定されるとその回転軸ベクトルの状態の分類が開始される (S101)。まず、回転軸ベクトルの z 軸方向成分がゼロであるかどうかを判断し、ゼロであれば S103 に進む (S102)。S103 では回転軸ベクトルの y 軸方向成分がゼロであるかどうかを判断している。次に、 y 軸方向成分がゼロの場合は S104 へと進み (S103)、回転軸ベクトルは x 軸に一致するので、状態番号 25 を選択する (S104)。

【0098】

S103 において、 y 軸方向成分がゼロでない場合は、 x 軸方向成分がゼロかどうかを判断する (S105)。その結果、 x 軸方向成分がゼロの場合は回転軸ベクトルは y 軸に一致するので、状態番号 26 を選択する (S106)。

【0099】

S105 において、 x 軸方向成分がゼロでない場合は回転軸ベクトルが x y 平面に存在することになるので、状態番号 28 を選択する (S107)。

【0100】

一方、S102 において、 z 軸方向成分がゼロでない場合は S108 に進む (S102)。S108 では、 x 軸方向および y 軸方向の成分両方がゼロであるかどうかを判断している。両方がゼロの場合は回転軸ベクトルは z 軸に一致するので、S109 にて状態番号 27 が選択される。

【0101】

S108 において、 x 軸方向および y 軸方向の成分もゼロでない場合は x , y , z の全ての方向の成分を持つことになる。その場合は S110 に進む (S108)、回転軸ベクトルの方向およびどの軸方向の成分の絶対値が最大であるかによりクラスおよびサブクラスが決定される (S110)。決定されたクラスおよびサブクラスにもとづいて状態番号が 1 から 24 のいずれかに選択される (S1

1 1) 。

【0 1 0 2】

そして、以上のような方法によっていずれかの状態番号が選択されると、その選択された状態番号に応じた逆モデルを使用することにより、駆動回路に入力する振幅比 $r \text{ Amp}$ および位相 ϕ が決定されることになる (S 1 1 2) 。

【0 1 0 3】

以上説明したように本実施形態では、振動型アクチュエータが z 軸方向の縦振動と x 軸方向および y 軸方向の横振動によって駆動を行っていることに着目し、線形な変換で駆動電圧の条件を求めることのできる回転軸ベクトルの状態と、非線形な変換で駆動電圧の条件を求める必要のある回転軸ベクトルの状態とに分類した。

【0 1 0 4】

さらに、上述のような非線形な変換を行う状態においては、上述の第 1 および第 2 の実施形態の場合に比べ、より細かい分類を行ったので、ニューラルネットワークの構成がより簡単になると共に、学習も容易に行うことができる。

【0 1 0 5】

(第 4 実施形態)

図 1 4 は、本発明の第 4 実施形態で使用する振動型アクチュエータの斜視図である。これまでの実施形態では円筒形状の棒状の振動体 S を使用したが、本実施形態では図 1 4 に示したように、弾性体 2 0 2 に圧電素子 2 0 3 を貼り付けた平板状の振動体 B を使用する。球形状の移動体 1 0 2 にはカメラ 1 0 3 が取り付けられており、カメラの向きを多自由度に自在に駆動させることが可能となっている。以下、駆動原理を説明する。

【0 1 0 6】

図 1 5 は、振動体 B の斜視図である。この振動体 B は、リン青銅等の金属により成形した正方板状の弾性体 2 0 2 と、この弾性体 2 0 2 に接着固定される圧電素子 2 0 3 とにより形成される。

【0 1 0 7】

この弾性体 2 0 2 は、図 1 5 に示すように Z 軸方向に延びる接触突起部 P C 2

0 1 ~ P C 2 0 4 を有しており、これら接触突起部は移動体 1 0 2 と接触して駆動力を伝達するための駆動点 C 2 0 1 ~ C 2 0 4 をその端面（X—Y 平面と略平行な端面）に有している。

【0 1 0 8】

これら駆動点 C 2 0 1 ~ C 2 0 4 には、表面酸化処理を施した S U S 等の耐摩耗性を有する部材が接着等により一体化されている。もちろん、耐摩耗性を有する部材を接着する態様に限らず、接触突起部 P C 2 0 1 ~ P C 2 0 4 の端面に対して直接、耐摩耗性を向上させる表面処理を施してもよい。

【0 1 0 9】

また、弾性体 2 0 2 のほぼ中央部には X—Y 平面と略平行な端面を有する突起部 P G が形成されており、この突起部 P G の端面は接触突起部 P C 2 0 1 ~ P C 2 0 4 の端面よりも高さ方向（Z 軸方向）において低い位置となるように形成されている。

【0 1 1 0】

そして、弾性体 2 0 2 の X—Y 平面上における 4 つの角部分には、同じく X—Y 平面と略平行な端面を有する突起部 P E 2 0 1 ~ P E 2 0 4 が形成されている。

【0 1 1 1】

これら突起部 P E 2 0 1 ~ P E 2 0 4、および突起部 P G は後述する固有振動モードの固有振動数を一致させると共に、接触突起部 P C 2 0 1 ~ P C 2 0 4 上の駆動点 C 2 0 1 ~ C 2 0 4 の変位を拡大する作用を有している。

【0 1 1 2】

弾性体 2 0 2 の中央部（すなわち、突起部 P G の中央部）には移動体 1 0 2 を吸引加圧するための加圧磁石 2 0 5 が配置されている。

【0 1 1 3】

図 1 6 に振動体 B に励振する固有振動モードの模式図を示す。図中の矢印は各固有モードの相対的な変位を示している。ここで示す M o d e - α , M o d e - β x , M o d e - β y とともに、振動体の X Y 面外の変形を生じる固有振動モードである。なお、M o d e - β x と M o d e - β y は互いに略直交する重根モード

である。

【0 1 1 4】

図 1 7 は弾性体 2 0 2 の裏面に配置され、振動体に固有振動モードを励振するための圧電素子 2 0 3 - 1 ~ 2 0 3 - 8 の構成を示す。同図において示す +, - は各圧電素子 2 0 3 の分極方向を表している。端子 A, B, C およびこれらと各圧電素子を結ぶ線は、駆動信号の印加端子と接続状態を模式的に示している。弾性体 2 0 2 と接続する G はコモン電位である。

【0 1 1 5】

このような構成において、端子 A に交番信号を印加すると Mode - α が励振される。そして、端子 B と端子 C に同位相の交番信号を印加することで Mode - βx が励振される。さらに、端子 B と端子 C に互いに逆位相の交番信号を印加することで Mode - βy が励振される。これら振動体に励振される固有振動モードを組み合わせ、3 つの略直交する軸回りの駆動力およびこれらの任意の組み合わせによる駆動力を発生させることができる。また、2 つの略直交する並進方向の駆動力と 1 つの軸回りの駆動力およびこれらの任意の組み合わせによる駆動力を発生させることもできる。

【0 1 1 6】

もちろん、本実施形態において述べた構成の振動型アクチュエータについても、上述した各実施形態による制御装置および制御方法を適用することにより、上述の各実施形態に示した構成による効果と同様な効果を奏することができることはいうまでもない。

【0 1 1 7】

また、振動型アクチュエータは上述の各実施形態に示した構成に限定されるものではない。振動体を構成する弾性体に 3 種類の異なる振動を励振させることによって、振動体の表面を、互いに直交する 3 方向のいずれにも変位させることができる振動型アクチュエータであれば、上述した各実施形態による制御装置および制御方法を適用することができる。

【0 1 1 8】

なお、上述の各実施形態においては、振動型アクチュエータに対して供給する

周波信号が交流電圧である例を挙げているが、これに限られるものではなく、パルス信号であってもよい。この場合、周波信号の位相とはパルス同士の位相を意味し、振幅とはパルス信号の高さ（振幅）を意味する。

【0119】

また、上述した各実施形態による振動型アクチュエータの制御装置と、これらの振動型アクチュエータの制御装置から供給される周波信号により駆動制御される振動型アクチュエータとを備えた振動型アクチュエータシステムを構成することによっても、上述した各実施形態における効果と同様な効果が得られることは言うまでもない。

【0120】

【発明の効果】

以上説明したように、本願各発明によれば、3種類以上の振動を励振させ冗長性・非線形性を有するような場合でも、所望の運動を効率よく行わせることのできる振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態で使用される制御装置の構成を示した機能ブロック図。

【図2】

本実施形態による振動型アクチュエータ（棒状多自由度超音波モータ）を説明するための斜視図。

【図3】

本実施形態における逆モデルを構築するために使用しているニューラルネットワークの模式図。

【図4】

本実施形態における逆モデルのニューラルネットワークの学習方法を示す図。

【図5】

フィードフォワードによる制御回路の構成を示す機能ブロック図。

【図6】

初期位置 P_{ini} から目標位置 P_{goal} までの出力軸 6 先端の移動軌跡を 3 次元的に表した図。

【図 7】

図 6 に表した移動軌跡の各平面への投影図。

【図 8】

本発明の第 2 実施形態における制御回路の構成を示す機能ブロック図。

【図 9】

本発明の第 3 実施形態における制御回路の構成を示す機能ブロック図。

【図 10】

回転軸の象限と位相差の関係を示す表。

【図 11】

回転軸ベクトルの条件と位相および振幅比の関係を示す表。

【図 12】

回転軸ベクトルの条件と位相および振幅比の関係を示す表。

【図 13】

選択器 23 における振幅比 r_{amp} および位相 ϕ の決定方法のフローチャート。

【図 14】

本発明の第 4 実施形態で使用される振動型アクチュエータ（平板状振動型アクチュエータ）の斜視図。

【図 15】

本実施形態による振動型アクチュエータの振動体 B の斜視図。

【図 16】

振動体 B に励振する固有振動モードを説明するための模式図。

【図 17】

振動体に固有振動モードを励振するための圧電素子の構成を示す図。

【符号の説明】

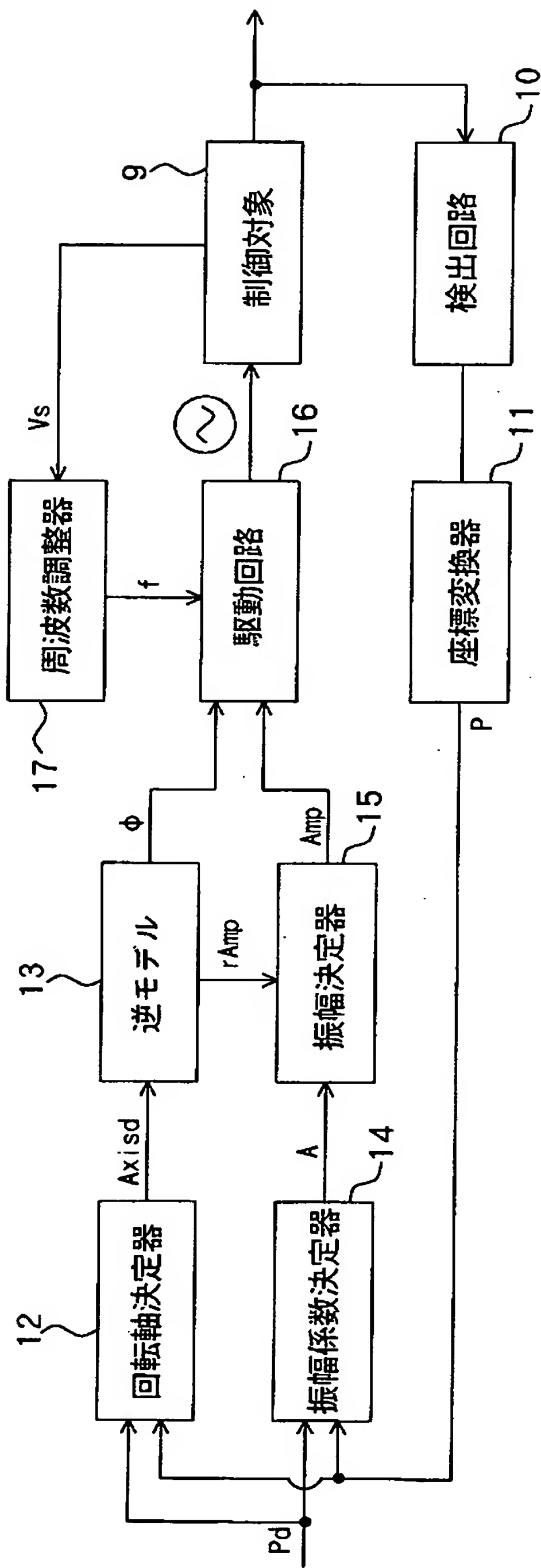
1, 2, 203 圧電素子

3, 202 弾性体

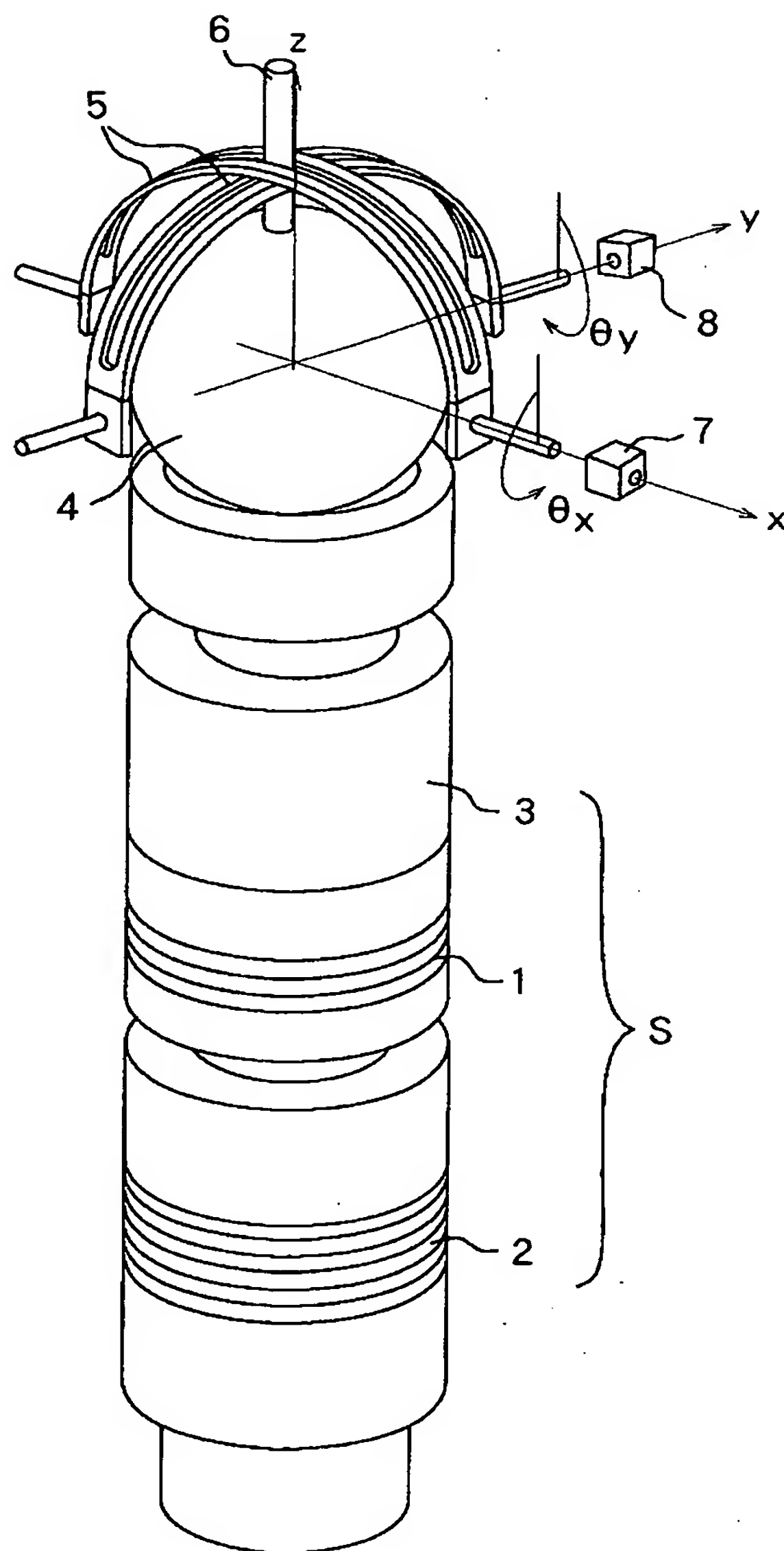
S, B 振動体
4., 1 0 2 移動体
5 アーチ状ガイド
6 出力軸
7, 8 ポテンシヨメータ
9 制御対象
1 0 検出回路
1 1 座標変換器
1 2 回転軸決定器
1 3 逆モデル
1 4 振幅係数決定器
1 5 振幅決定器
1 6 駆動回路
1 7 周波数調整器
1 8 駆動推定シミュレータ
1 9 ニューラルネットワーク
2 0, 2 2 逆モデル群
2 1, 2 3 選択器
1 0 3 カメラ

【書類名】 図面

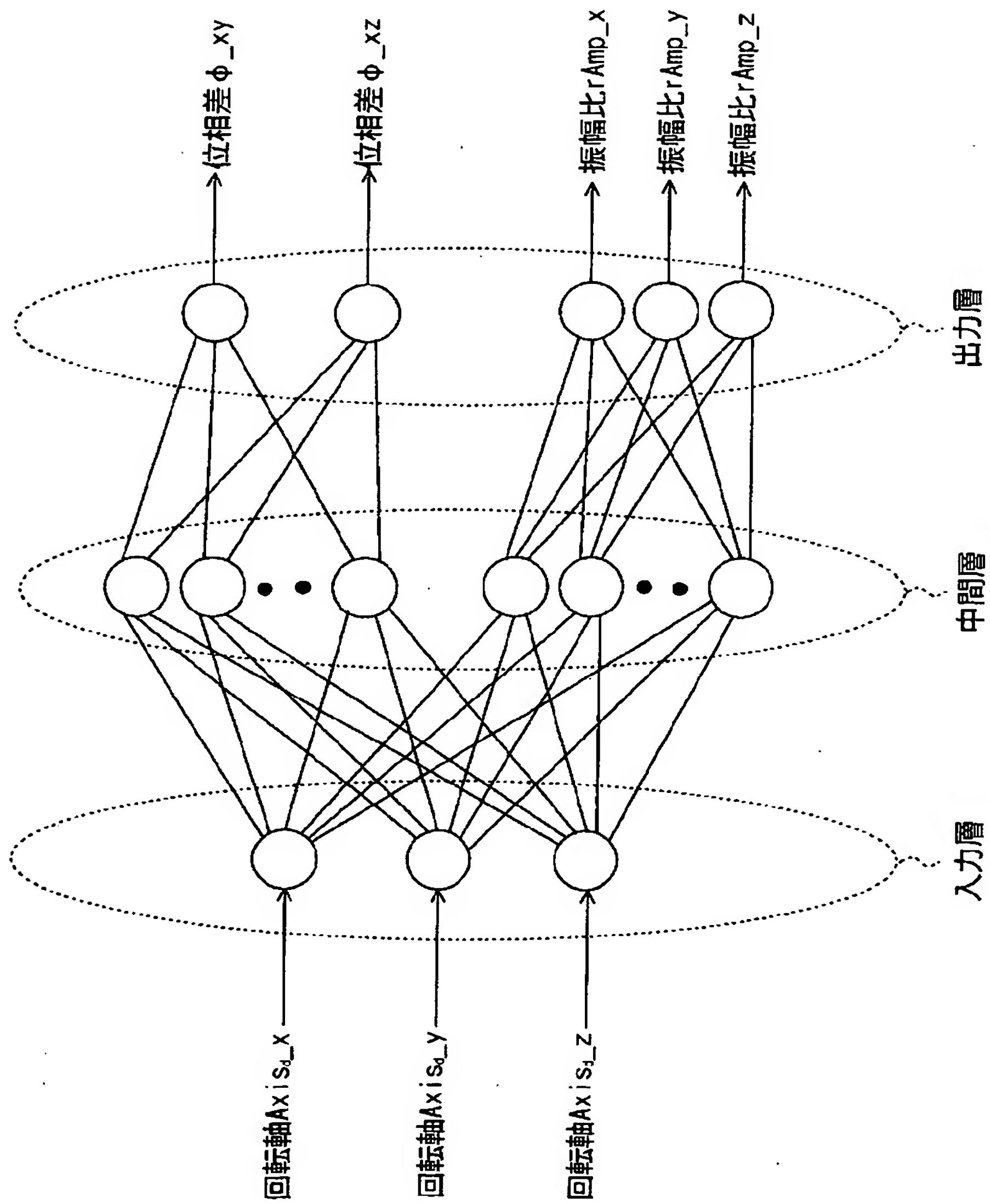
【図 1】



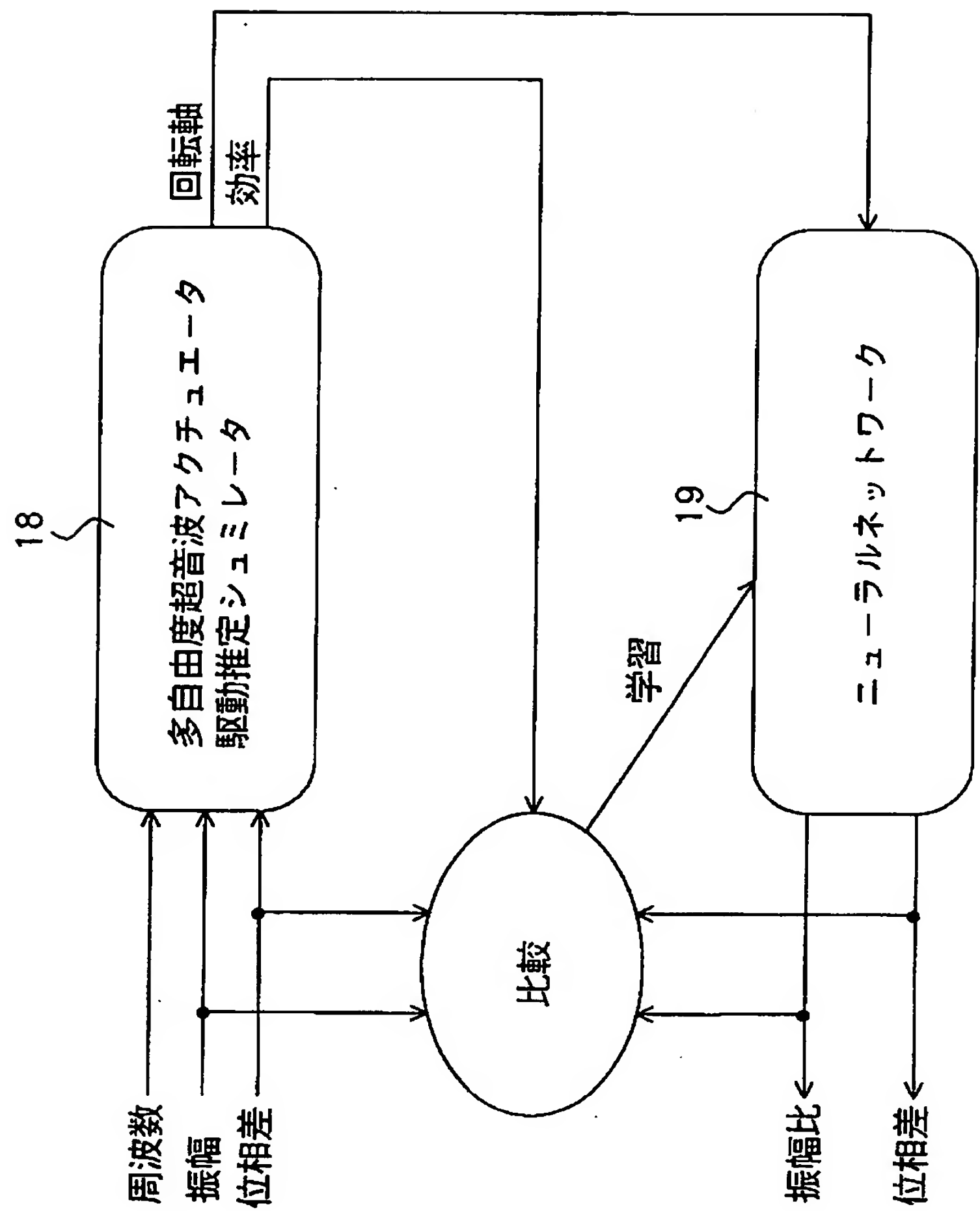
【図 2】



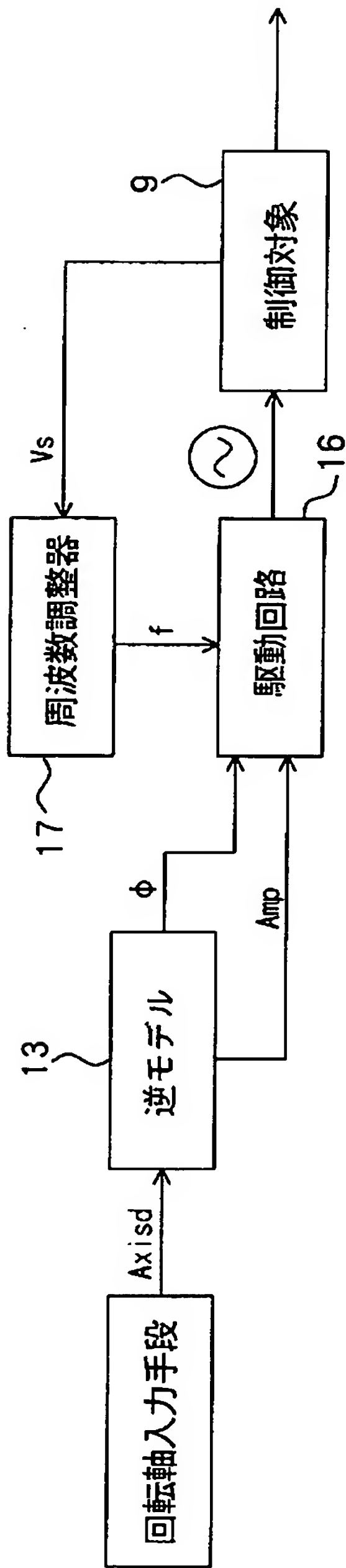
【図 3】



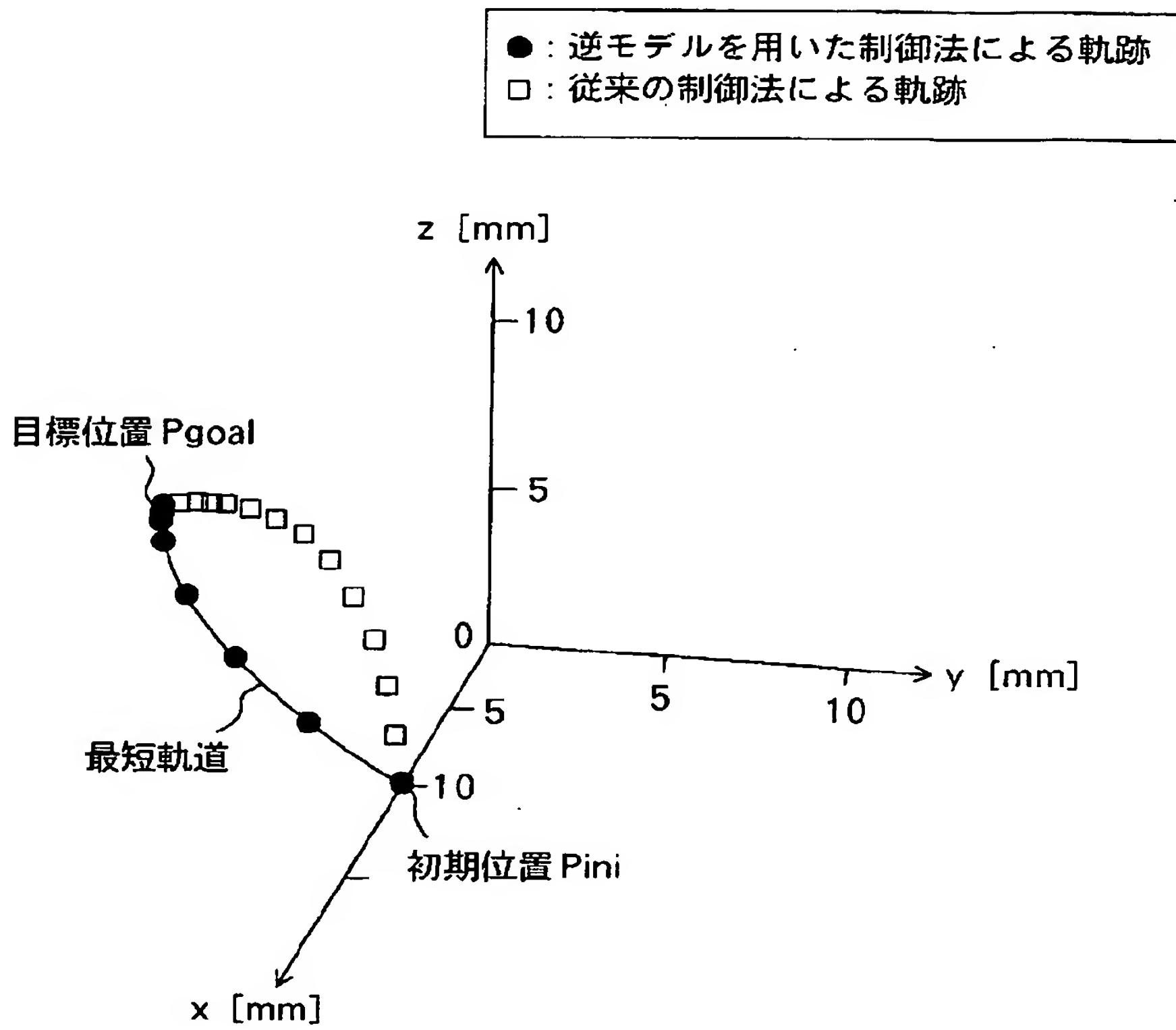
【図 4】



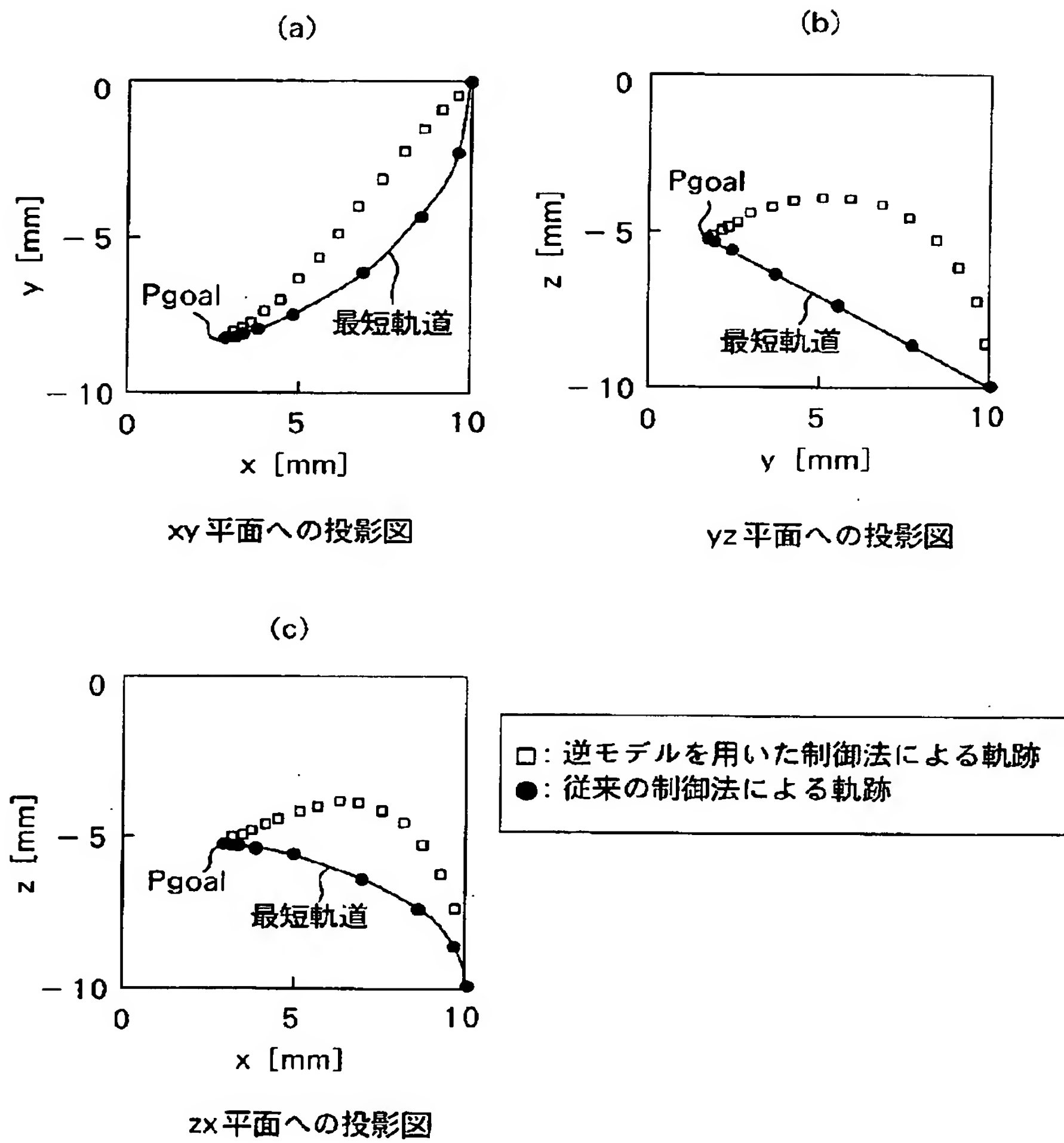
【図 5】



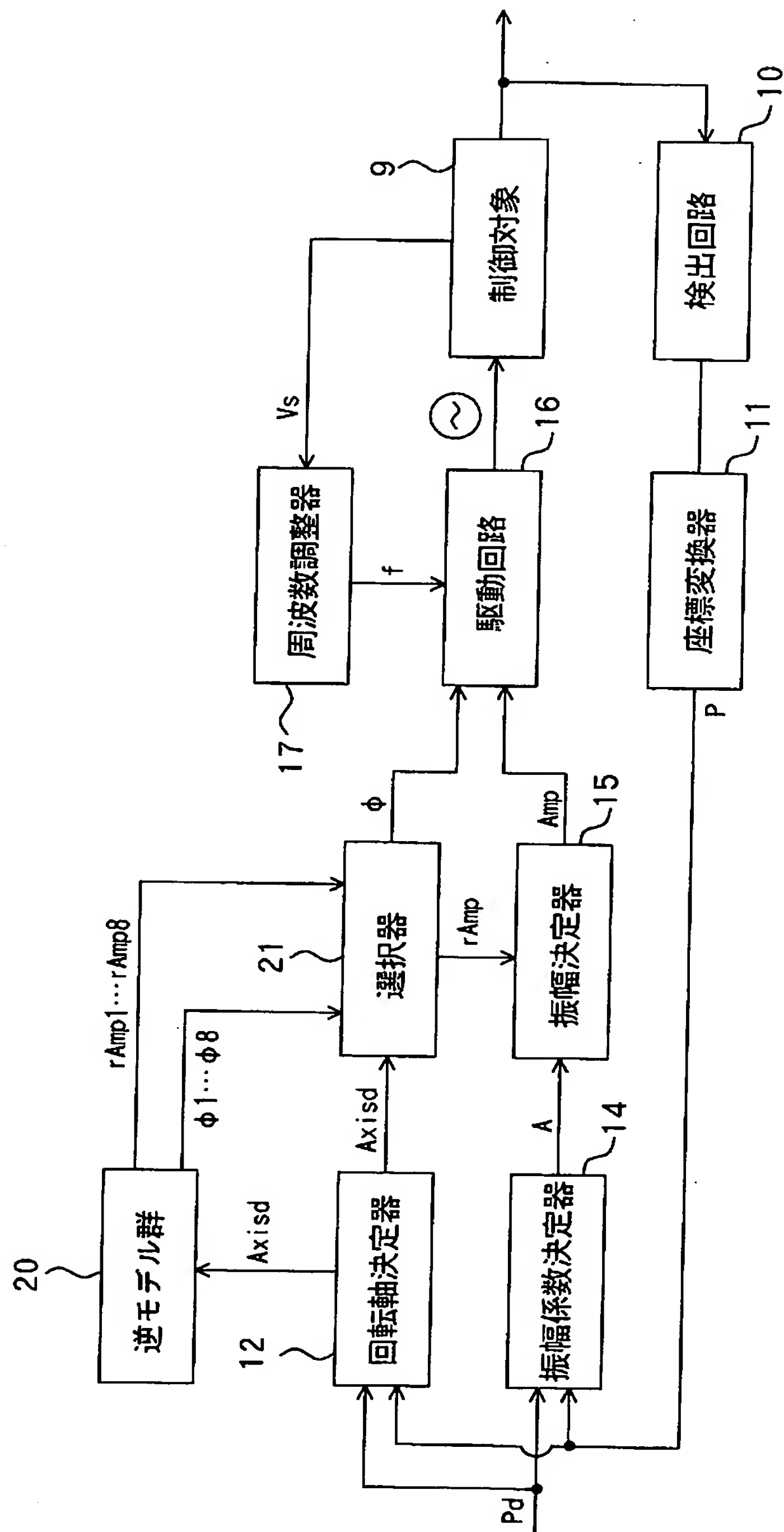
【図 6】



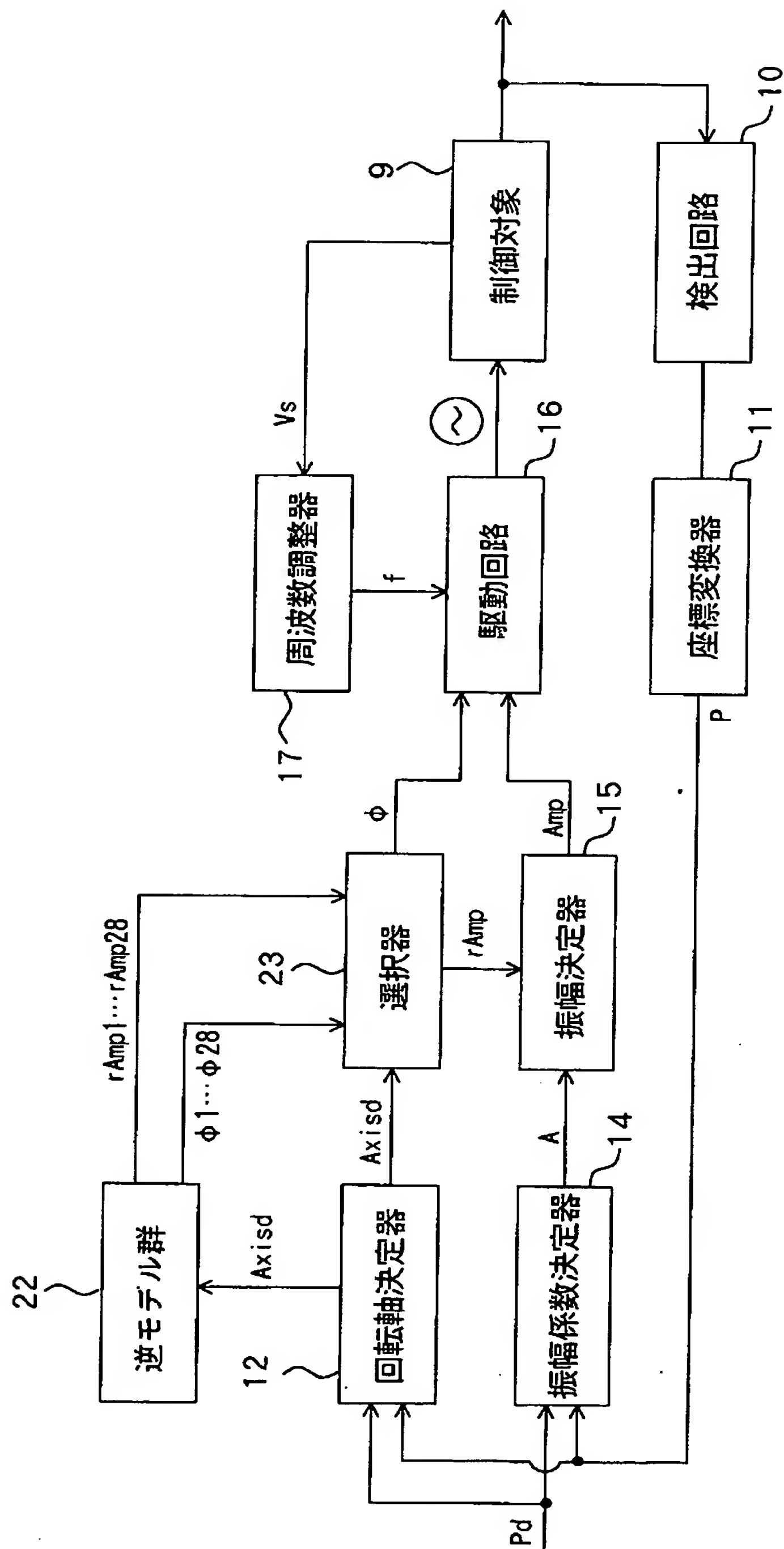
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 1 0】

x成分の 符号	y成分の 符号	位相差 Φ_{xy}	位相差 Φ_{xz}
+	+	π	$\pi/2$
+	-	0	$-\pi/2$
-	+	0	$\pi/2$
-	-	π	$-\pi/2$

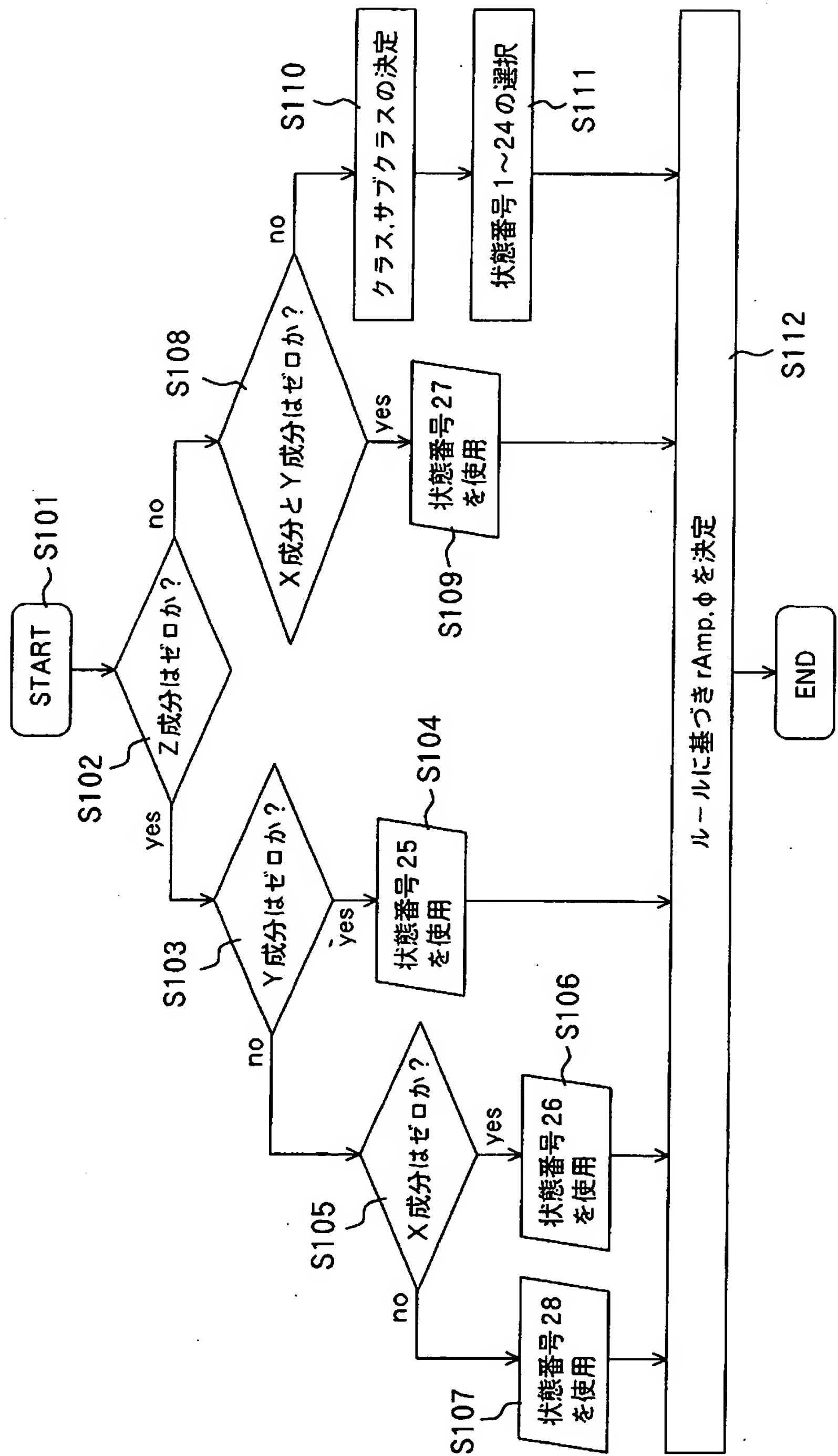
【図 1 1】

状態 番号	クラス	サブ クラス	回転軸の各成分の符号		位相 ϕ [rad]			振幅比 rAmp		
			x 軸	y 軸 z 軸	絶対値 最大成分	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z	Amp_x	Amp_y
1 2 3	1	1 2 3	+	+	-	$-\pi/2 \sim 0$ 0 0	$\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$	0 $\pi/2$ $0 \sim \pi/2$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
4 5 6	2	1 2 3	+	-	+	$\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$ $\pi/2$	$\pi/2$ $0 \sim \pi/2$ 0	0 0 $-\pi/2 \sim 0$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
7 8 9	3	1 2 3	+	-	-	$0 \sim \pi/2$ $\pi/2$ 0	$\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$	0 0 $-\pi/2 \sim 0$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
10 11 12	4	1 2 3	-	+	+	$0 \sim \pi/2$ 0 $\pi/2$	0 $-\pi/2 \sim 0$ 0	$\pi/2$ $\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
13 14 15	5	1 2 3	-	+	-	$-\pi/2 \sim 0$ 0 0	0 $0 \sim \pi/2$ $\pi/2$	$\pi/2$ $\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
16 17 18	6	1 2 3	-	-	+	$\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$ $\pi/2$	0 $-\pi/2 \sim 0$ 0	$\pi/2$ 0 $0 \sim \pi/2$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
19 20 21	7	1 2 3	+	+	+	$-\pi \sim -\pi/2$ 0 $\pi/2$	$\pi/2$ $-\pi \sim -\pi/2$ 0	0 $\pi/2$ $-\pi \sim -\pi/2$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$
22 23 24	8	1 2 3	-	-	-	$\pi/2 \sim \pi$ 0 $-\pi/2$	$-\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ 0	0 $-\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	$1 \sim 2$ 1 1	1 $1 \sim 2$ 1 $1 \sim 2$

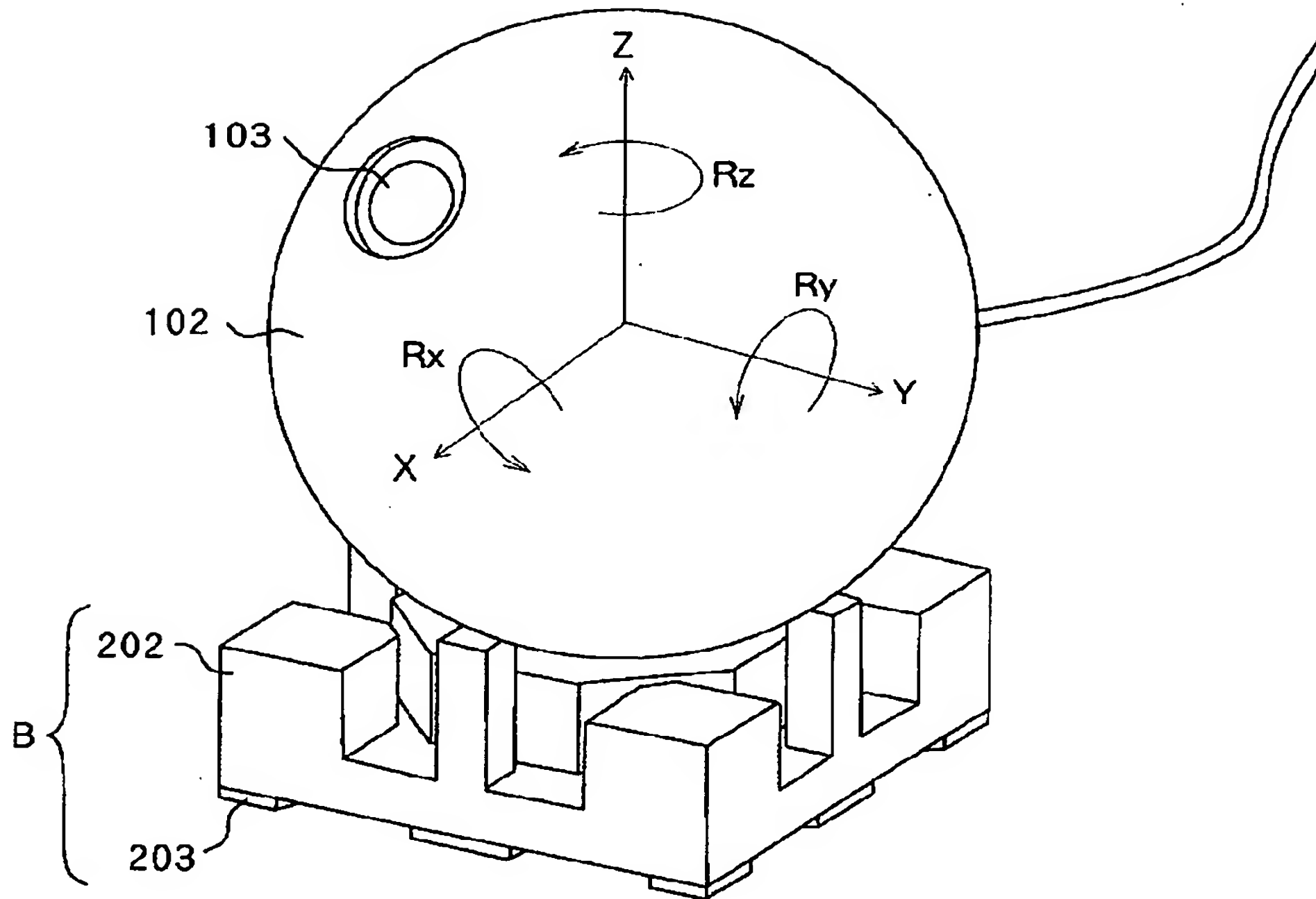
【図 1 2】

状態 番号	クラス	サブ クラス	回転軸の各成分の符号			位相 ϕ [rad]			振幅比 rAmp			
			x 軸	y 軸	z 軸	絶対値 最大成分	ϕ_x	ϕ_y	ϕ_z	Amp_x	Amp_y	Amp_z
1 2 3	1	1 2 3	+	+	-	x y z	$-\pi/2 \sim 0$ 0 0	$\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$	0 $\pi/2$ $0 \sim \pi/2$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
4 5 6	2	1 2 3	+	-	+	x y z	$\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$ $\pi/2$	$\pi/2$ $0 \sim \pi/2$ 0	0 0 $-\pi/2 \sim 0$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
7 8 9	3	1 2 3	+	-	-	x y z	$0 \sim \pi/2$ $\pi/2$ 0	$\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$	0 0 $-\pi/2 \sim 0$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
10 11 12	4	1 2 3	-	+	+	x y z	$0 \sim \pi/2$ 0 $\pi/2$	0 $-\pi/2 \sim 0$ 0	$\pi/2$ $\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
13 14 15	5	1 2 3	-	-	-	x y z	$-\pi/2 \sim 0$ 0 0	0 $0 \sim \pi/2$ $\pi/2$	$\pi/2$ $\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
16 17 18	6	1 2 3	-	-	+	x y z	$\pi/2 \sim \pi$ $\pi/2$ $\pi/2$	0 $-\pi/2 \sim 0$ 0	$\pi/2$ 0 $0 \sim \pi/2$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
19 20 21	7	1 2 3	+	+	+	x y z	$-\pi \sim -\pi/2$ 0 $\pi/2$	$\pi/2$ $-\pi \sim -\pi/2$ 0	0 $\pi/2$ $-\pi \sim -\pi/2$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
22 23 24	8	1 2 3	-	-	-	x y z	$\pi/2 \sim \pi$ 0 $-\pi/2$	$-\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$ 0	0 $-\pi/2$ $\pi/2 \sim \pi$	1 1 1	1 1 1	1 1 1
25 26 27 28			+, - 0 0 +, -	- +, - 0 +, -	0 0 - 0		0 0 0 0	0 0 $\pi/2$ 0	$\pi/2$ $\pi/2$ 0 $\pi/2$	0 1 1 0	1 0 1 0	1 1 0 1

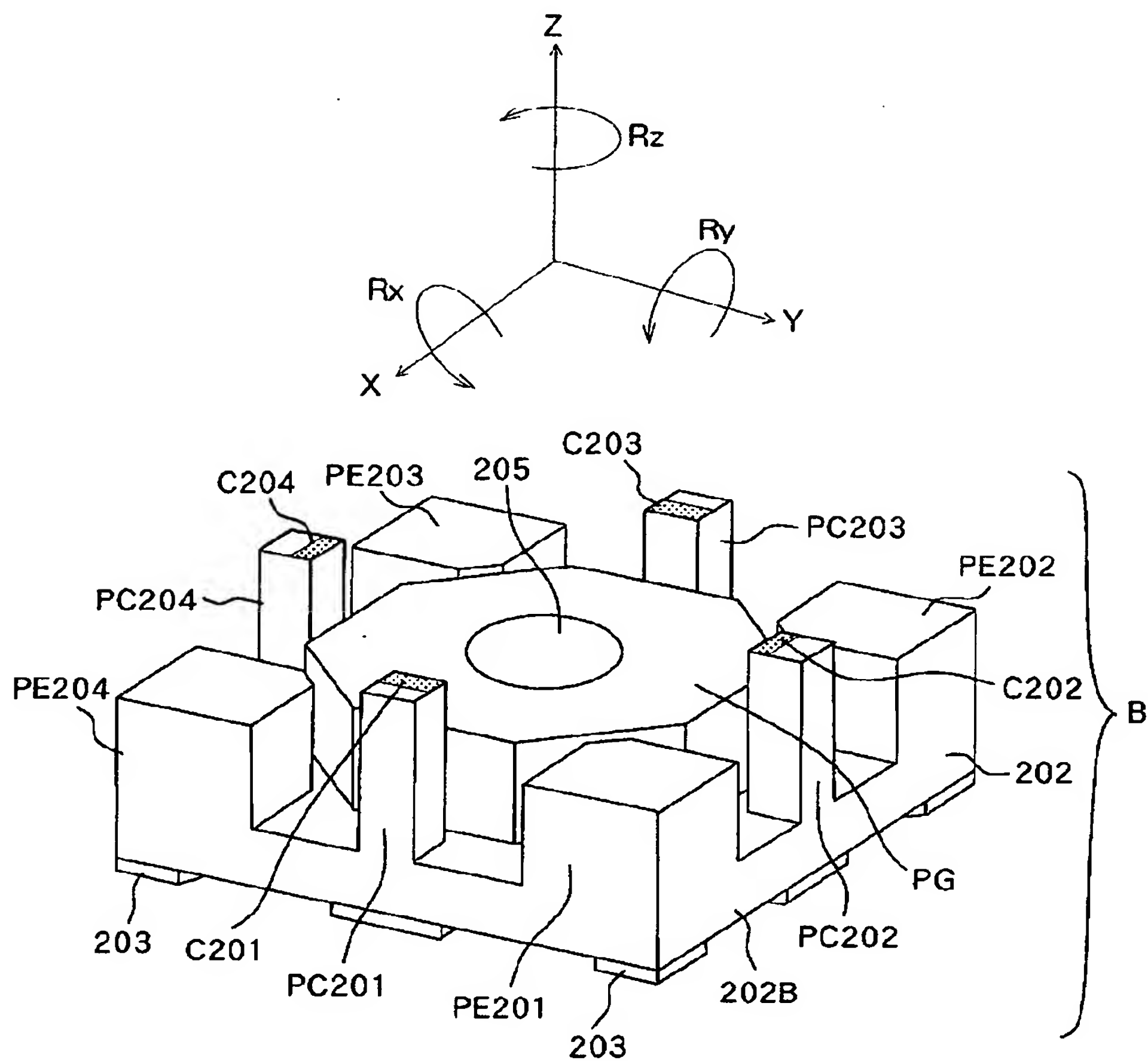
【図 13】



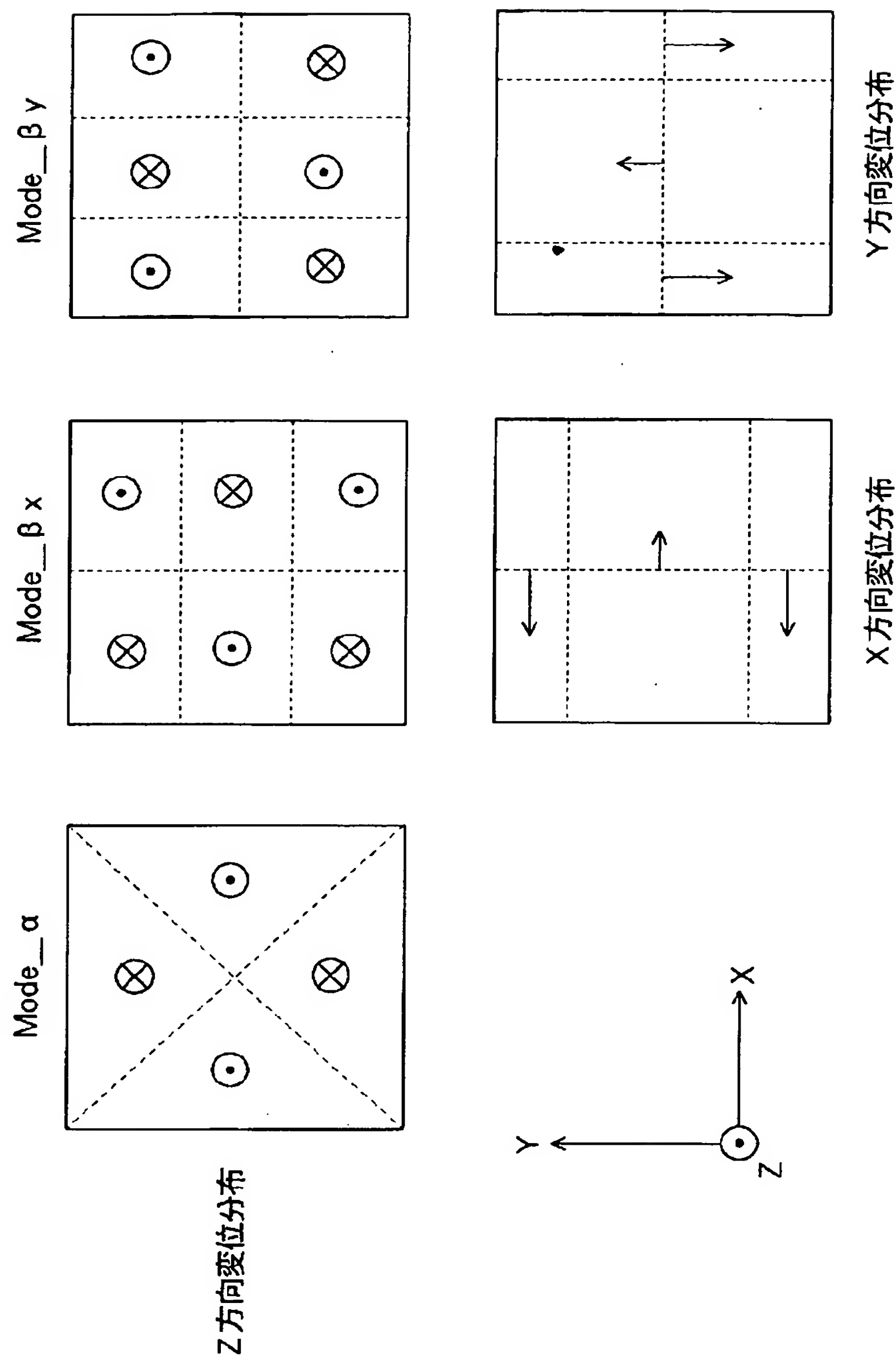
【図 14】



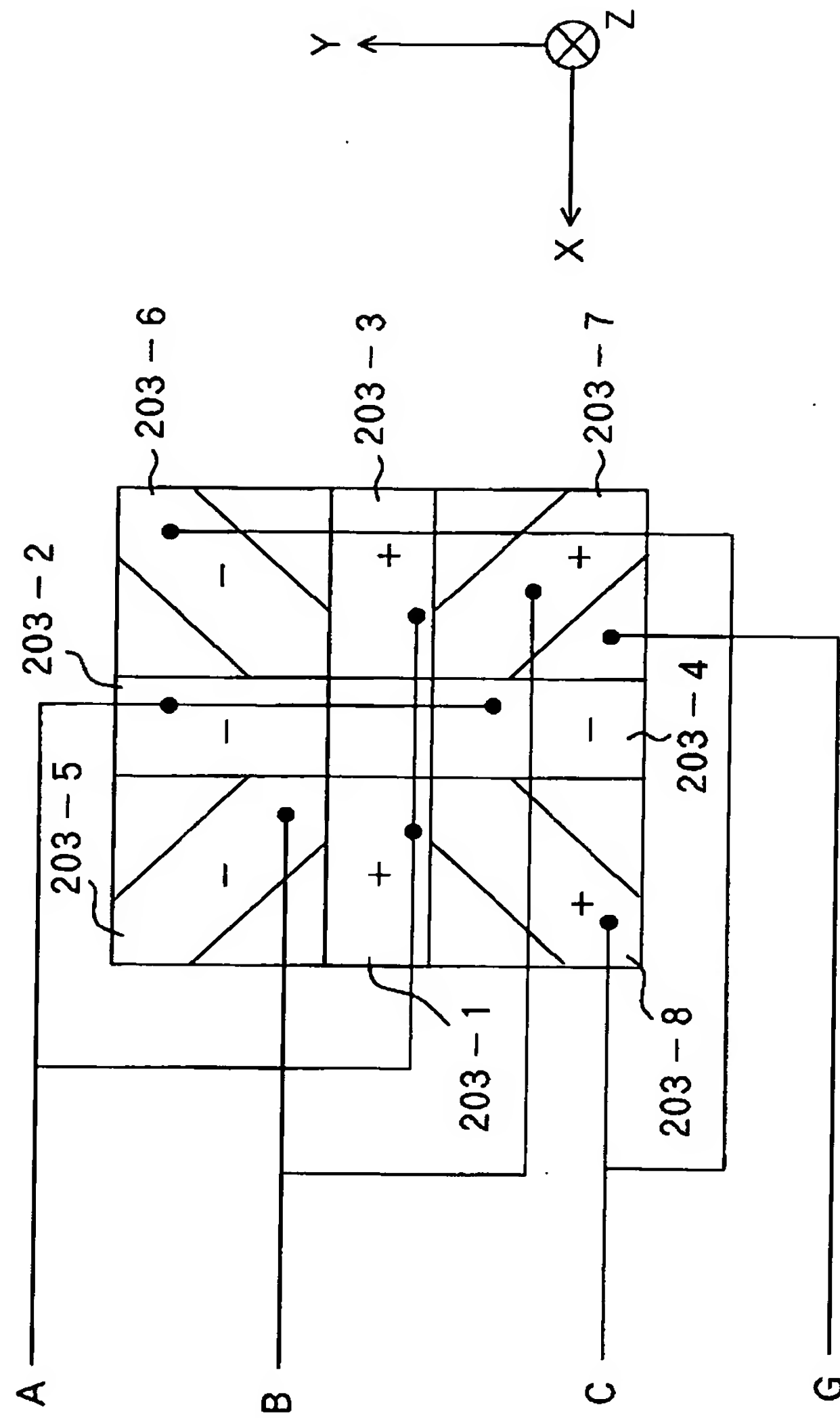
【図 15】



【図 1 6】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 3種類以上の振動を励振させ冗長性・非線形性を有するような場合でも、所望の運動を効率よく行わせることのできる振動型アクチュエータの制御装置、振動型アクチュエータシステム、振動型アクチュエータの制御方法を提供する。

【解決手段】 振動型アクチュエータの制御装置は、移動体と、この移動体に接触する弾性体と、この弾性体に固着され少なくとも3相の周波信号の供給により弾性体に少なくとも3種類の異なる振動を励振させる電気-機械エネルギー変換素子とを備えた振動型アクチュエータに対し、弾性体に接触する移動体を目標位置まで回転させるための少なくとも3相の周波信号を供給する振動型アクチュエータの制御装置であって、移動体が目標位置まで到達するための回転軸を決定する回転軸決定手段と、逆モデルを用いることにより、決定された回転軸を中心として移動体を回転させるための各周波信号の位相および振幅を決定するパラメータ決定手段と、決定された位相および振幅を有する各周波信号を電気-機械エネルギー変換素子に供給する制御手段とを有する。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 2 - 2 9 3 4 3 7

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 1 0 0 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号

氏 名

キヤノン株式会社